



TUGAS AKHIR TT 090361

# **RANCANG BANGUN *SOLAR TRACKING* SYSTEM MENGGUNAKAN KONTROL PID PADA SUMBU *AZIMUTH***

HARIZ ELVIA SANTOSO  
NRP 2411.031.029

Dosen Pembimbing  
ANDI RAHMADIANSAH, ST, MT

PROGRAM STUDI D3 METROLOGI DAN INSTRUMENTASI  
JURUSAN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2014



**FINAL PROJECT TT 090361**

***DESIGN AND CONSTRUCTION SINGLE  
AXIS (AZIMUTH) SOLAR TRACKING  
SYSTEM USING PID CONTROL***

**HARIZ ELVIA SANTOSO  
NRP 2411.031.029**

***Advisor Lecturer***  
**ANDI RAHMADIANSAH, ST, MT**

***DIPLOMA III METROLOGY AND INSTRUMENTATION  
ENGINEERING  
Department of Engineering Physics  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh November Institute of Technology  
Surabaya 2014***

**RANCANG BANGUN *SOLAR TRACKING SYSTEM*  
MENGUNAKAN KONTROL PID PADA SUMBU  
AZIMUTH**

**TUGAS AKHIR  
OLEH :**

**HARIZ ELVIA SANTOSO**  
**NRP. 2411 031 029**

Surabaya, 18 Juli 2014  
Mengetahui/Menyetujui

**Ketua Program Studi  
DIII Metrologi dan Instrumentasi**

**Dosen Pembimbing I**

  
**Dr.Ir. Purwadi Agus D, M.Sc**  
**NIP. 19620822 198803 1 001**

  
**Andi Rahmadiansah, ST, MT**  
**NIP. 19790517 200312 1 002**

**Ketua Jurusan  
Teknik Fisika FTI-ITS**

  
**Dr. Ir Totok Soehartanto, DEA**  
**NIP. 19650309 199002 1 001**




**RANCANG BANGUN *SOLAR TRACKING SYSTEM*  
MENGUNAKAN KONTROL PID PADA SUMBU  
AZIMUTH**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Ahli Madya  
pada  
Program Studi D3 Metrologi dan Instrumentasi  
Jurusan Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :  
**HARIZ ELVIA SANTOSO**  
NRP. 2411 031 029

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Andi Rahmadiansah, ST, MT  ..... (Pembimbing I)
2. Hendra Cordova, ST, MT  ..... (Penguji I)
3. Dr Dhany Arifianto, ST, M.Eng  ..... (Penguji II)

**SURABAYA  
JULI, 2014**

## **RANCANG BANGUN *SOLAR TRACKING SYSTEM* MENGUNAKAN KONTROL PID PADA SUMBU *AZIMUTH***

**Nama Mahasiswa**  
**NRP**  
**Jurusan/Fakultas**  
**Pembimbing**

**: Hariz Elvia Santoso**  
**: 2411 031 029**  
**: Teknik Fisika FTI-ITS**  
**: Andi Rahmadiansah, ST, MT**

### ***Abstrak***

*Photovoltaic* (PV) merupakan suatu *device* yang mampu merubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Ada dua hal yang bisa dilakukan untuk meningkatkan kinerja *photovoltaic*, yaitu pengembangan teknologi material PV dan teknologi penjejak matahari. Pada penelitian ini, difokuskan pada usaha peningkatan performansi PV melalui mekanisme sistem penjejak matahari. Secara umum, sistem penjejak matahari digunakan untuk mendapatkan input radiasi matahari yang selalu maksimal melalui pengendalian posisi PV agar selalu mengikuti pergerakan posisi matahari. Sistem yang dibangun terdiri atas dua bagian, yaitu subsistem mekanik (PV, motor, kerangka penjejak matahari dan *gear*) dan subsistem elektrik (*sensor*, *voltage divider* dan *mikrokontroller*). Metode kontrol yang dikembangkan pada sistem ini adalah berbasis PID, dimana parameter kontrol terbaik dicapai untuk Kp, Ki dan Kd, masing-masing adalah 40, 0.2, dan 2, dengan indeks *performansi respon* kontrol meliputi *setling time* 59.5 s dan *overshoot* 0.552 Volt. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan daya keluaran PV dengan *solar tracking system* sebesar 36.57% jika dibandingkan dengan *fixed PV*.

**Kata Kunci : *Photovoltaic, Solar Tracking, PID, Single Axis***



## ***DESIGN AND CONSTRUCTION SINGLE AXIS (AZIMUTH) SOLAR TRACKING SYSTEM USING PID CONTROL***

**Name of Student** : Hariz Elvia Santoso  
**NRP** : 2411 031 029  
**Departement** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Supervisor** : Andi Rahmadiansah, ST, MT

### ***Abstract***

*Photovoltaic (PV) is a device that able to transform solar radiation energy into electrical energy. There are two things you can do to improve the performance of photovoltaic, development of PV materials and solar tracking technology. In this study, focused on business performance improvement through the mechanism of PV solar tracking system. Generally, solar tracking system is used to get input of solar radiation that always maximized through controlling the position of the PV to following the movement of the sun. The system built consisting of two parts, namely the mechanical subsystem (PV, motors, solar tracking frame and gear) and electrical subsystems (sensors, voltage divider and microcontroller). Control methods developed in this system is based on the PID, which achieved the best control parameters for  $K_p$ ,  $K_i$  and  $K_d$ , respectively are 40, 0.2, and 2, with index performance of the response control, like settling time 59.5 s and overshoot is 0552 Volt. The test results showing that increase in power output of PV with solar tracking system by 36.57% when compared with fixed PV*

***Keywords: Photovoltaic, Solar Tracking, PID, Single Axis***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Rancang Bangun Solar Tracking System Menggunakan Kontrol PID pada Sumbu Azimuth”** dengan tepat waktu. Laporan ini dapat terselesaikan karena dukungan dan peran serta dari berbagai pihak. Sehubungan dengan adanya hal tersebut, maka dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak dan Ibu beserta seluruh keluarga tercinta, terima kasih untuk dukungan tiada henti dan doa yang terus dipanjatkan hingga laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
2. Bapak Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS.
3. Bapak Ridho Hantoro selaku Kepala Sie Tugas Akhir Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS.
4. Bapak Andi Rahmadiansah, ST, MT selaku pembimbing Tugas Akhir yang telah membina dan membimbing dengan baik.
5. Bapak Imam Abadi, ST, MT yang telah banyak membimbing dan memberikan ilmu tentang Tugas Akhir ini.
6. Ibu Ir Ronny Dwi Noryati, M Kes selaku Dosen Wali penulis.
7. Team LPF (Laboratorium Pengukuran Fisis) yang telah menyediakan tempat dan membantu pengerjaan Tugas Akhir ini.
8. Team LAKONE (Laboratorium Pengkondisian dan Rekayasa Energi) yang telah membantu pengerjaan Tugas Akhir ini.
9. Teman-teman S1 Teknik Fisika dan D3 Metrologi dan Instrumentasi angkatan 2011 FTI-ITS.

10. Wilujeng, Nadhifa, Shita Agustin, Damayanti, Rio Ananda, Bayu Irianto, Annisa Ammadhea selaku rekan Tim Tugas Akhir penulis.

11. Kece *Family* yang telah banyak memberikan dukungan dan bantuan.

12. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih kurang sempurna. Oleh karena itu penulis menerima segala masukan baik berupa saran, kritik, dan segala bentuk tegur sapa demi kesempurnaan lapiran ini.

Demikian laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan dengan harapan dapat bermanfaat dalam akademik baik bagi penulis sendiri maupun bagi pembaca.

Surabaya, 18 Juli 2014

Penulis.



## DAFTAR ISI

|  |            |
|--|------------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b>                       | <b>i</b>   |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN</b>                   | <b>iii</b> |
| <b>ABSTRAK</b>                             | <b>v</b>   |
| <b>ABSTRACT</b>                            | <b>vi</b>  |
| <b>KATA PENGANTAR</b>                      | <b>vii</b> |
| <b>DAFTAR ISI</b>                          | <b>ix</b>  |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b>                       | <b>xi</b>  |
| <b>DAFTAR TABEL</b>                        | <b>xii</b> |
| <br>                                       |            |
| <b>BAB I. PENDAHULUAN</b>                  | <b>1</b>   |
| 1.1 Latar Belakang                         | 1          |
| 1.2 Perumusan Masalah                      | 2          |
| 1.3 Tujuan                                 | 2          |
| 1.4 Batasan Masalah                        | 3          |
| <br>                                       |            |
| <b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b>            | <b>5</b>   |
| 2.1 <i>Solar Cell</i>                      | 5          |
| 2.2 <i>Solar Tracker</i>                   | 6          |
| 2.3 <i>LDR (Light Dependent Resistant)</i> | 7          |
| 2.4 <i>Arduino</i>                         | 8          |
| 2.5 <i>Motor Servo</i>                     | 10         |
| 2.6 <i>Kontrol PID</i>                     | 12         |
| <br>                                       |            |
| <b>BAB III. METODOLOGI PERCOBAAN</b>       | <b>15</b>  |
| 3.1 <i>Diagram Blok</i>                    | 18         |
| 3.2 <i>Pembuatan Hardware</i>              | 21         |
| 3.3 <i>Pembuatan Software</i>              | 28         |
| <br>                                       |            |
| <b>BAB IV. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN</b> | <b>31</b>  |
| 4.1 <i>Data Pengujian Komponen</i>         | 31         |
| 4.2 <i>Analisa Sistem Kontrol PID</i>      | 34         |
| 4.3 <i>Daya Photovoltaic</i>               | 35         |
| 4.4 <i>Validasi Sudut</i>                  | 40         |

|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| <b>BAB V. PENUTUP</b> | <b>43</b> |
| 5.1 Kesimpulan        | 43        |
| 5.2 Saran             | 43        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b> | <b>45</b> |
| <b>LAMPIRAN A</b>     | <b>47</b> |
| <b>LAMPIRAN B</b>     | <b>49</b> |
| <b>LAMPIRAN C</b>     | <b>50</b> |
| <b>LAMPIRAN D</b>     | <b>66</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|                    |  |    |
|--------------------|--|----|
| <b>Gambar 2.1</b>  | (a) <i>photoelectric effect</i> , (b) <i>photovoltaic effect</i>   | 5  |
| <b>Gambar 2.2</b>  | (a) <i>Solar Panel</i> (b) Kumpulan <i>solar cell</i> yang di seri | 6  |
| <b>Gambar 2.3</b>  | <i>Voltage divider</i> dan LDR                                     | 8  |
| <b>Gambar 2.4</b>  | Arduino Mega 2560  | 9  |
| <b>Gambar 2.5</b>  | Pinout Diagram Arduino Mega 2560                                   | 10 |
| <b>Gambar 2.6</b>  | Motor Servo HS-805BB   | 11 |
| <b>Gambar 2.7</b>  | Kontrol Proporsional   | 12 |
| <b>Gambar 2.8</b>  | Kontrol Integral   | 13 |
| <b>Gambar 2.9</b>  | Kontrol Derivatif  | 13 |
| <b>Gambar 2.10</b> | Kontrol PID  | 14 |
| <b>Gambar 3.1</b>  | Diagram alur penelitian tugas akhir                                | 16 |
| <b>Gambar 3.2</b>  | Diagram blok sistem pengendalian                                   | 19 |
| <b>Gambar 3.3</b>  | Diagram blok sistem pengendalian animasi                           | 20 |
| <b>Gambar 3.4</b>  | Desain <i>Solar tracker</i>  | 20 |
| <b>Gambar 3.5</b>  | Dimensi <i>solar tracker</i> belakang                              | 23 |
| <b>Gambar 3.6</b>  | Dimensi <i>solar tracker</i> samping                               | 23 |
| <b>Gambar 3.7</b>  | Sistem mekanik awal  | 24 |
| <b>Gambar 3.8</b>  | Sumbu <i>Azimuth</i>   | 25 |
| <b>Gambar 3.9</b>  | Motor Sumbu <i>Azimuth</i>   | 25 |
| <b>Gambar 3.10</b> | <i>Solar Tracker</i>   | 26 |
| <b>Gambar 3.11</b> | Rangkaian Sensor   | 27 |
| <b>Gambar 3.12</b> | <i>Schematic</i> Rangkaian Elektrik                                | 28 |
| <b>Gambar 3.13</b> | Perbandingan LDR   | 29 |
| <b>Gambar 4.1</b>  | Perbandingan LDR utara dan selatan                                 | 32 |
| <b>Gambar 4.2</b>  | Grafik uji PV1 dan PV2   | 33 |
| <b>Gambar 4.3</b>  | Grafik <i>Respon</i> PID   | 34 |
| <b>Gambar 4.4</b>  | Grafik daya tanpa beban  | 37 |
| <b>Gambar 4.5</b>  | Grafik daya dengan beban 10 Watt 12Vdc                             | 40 |
| <b>Gambar 4.6</b>  | Grafik <i>Validasi</i> Sudut                                       | 42 |

## DAFTAR TABEL

|                  |                                |    |
|------------------|--------------------------------|----|
| <b>Tabel 4.1</b> | Data PV <i>Tracker</i>         | 36 |
| <b>Tabel 4.2</b> | Data PV <i>fixed</i>           | 36 |
| <b>Tabel 4.3</b> | Output daya <i>solar panel</i> | 39 |
| <b>Tabel 4.4</b> | Validasi Sudut                 | 41 |



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan manusia terhadap energi semakin meningkat. Namun pada kenyataannya jumlah energi yang tersedia di bumi ini semakin menipis. Hal ini memicu para peneliti, akademisi, dan manusia lainnya untuk berlomba-lomba membuat energi baru. Dimana energi baru ini akan menjadi sebuah energi yang dapat diperbaharui dalam waktu yang dekat. Energi ini biasa disebut dengan *Renewable Energy* [9]. *Renewable Energy* berperan sebagai alternative dari energi yang tidak dapat diperbaharui seperti energi fosil. Salah satu energi yang dapat diperbaharui adalah energi dari cahaya matahari. Energi ini tersedia setiap hari dan tersebar disemua daerah yang ada di muka bumi ini. Energi surya yang diterima di Negara Indonesia kurang lebih sekitar  $4,5 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$  di daerah barat dan  $5,1 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$  untuk daerah timur [1]. Pancaran sinar matahari inilah yang nantinya akan dirubah menjadi energi listrik dan digunakan untuk kebutuhan manusia.

Salah satu alat yang dapat digunakan untuk menangkap energi matahari adalah *solar cell*. *Solar cell* atau *photovoltaic* merupakan suatu alat yang mampu menghasilkan listrik dari energi cahaya [2]. Pada saat ini, pemasangan *solar cell* kebanyakan masih dalam keadaan statis atau diam. Hal ini menyebabkan penyerapan energi matahari tidak optimal [3]. Dengan adanya hal tersebut, maka dibuatlah suatu alat yang dinamakan *Solar Tracker*. *Solar Tracker* adalah sebuah *plant solar cell* atau *photovoltaic* yang dirancang untuk memaksimalkan penyerapan energi matahari dengan cara mengikuti arah datang sinar matahari secara otomatis. Dengan ikutnya berputar *solar panel*, maka tingkat penyerapan energi *photon* dari matahari dapat dimaksimalkan.

Dalam tugas akhir ini dirancang sebuah alat *solar tracking system* yang fungsinya untuk memaksimalkan energi matahari dengan cara mengikuti arah sinar datang matahari secara



otomatis. Prinsip kerja dari alat ini adalah sinar matahari datang dari sebuah sudut menuju *solar tracking*. Dalam *solar tracking* tersebut dipasang empat buah sensor LDR. Dimana sensor tersebut dapat membaca intensitas cahaya yang masuk dari matahari. Masukan Intensitas tersebutlah yang nantinya akan dipergunakan sebagai acuan *solar tracker* untuk bergerak ke arah sumbu dimana matahari berada. Pergerakan *solar tracker* akan sangat bergantung pada metode kontrol yang digunakan. Kontrol yang digunakan dalam *solar tracker* ini adalah kontrol PID. Kontrol PID dipakai dikarenakan metode kontrol yang umum, *include library* pada arduino dan sudah dipelajari. Dengan Bergeraknya *solar tracker*, maka energi matahari yang dapat dimanfaatkan akan semakin maksimal dan efisien. Oleh karena itu, diharapkan *solar tracking* ini bisa meningkatkan penyerapan energi matahari secara maksimal untuk dikonversikan menjadi energi listrik demi memenuhi kebutuhan manusia yang semakin bertambah dalam sektor *renewable energy*.

## 1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

- Bagaimana desain mekanik *solar tracker* yang dipakai?
- Bagaimana cara merancang dan membuat *solar tracking system* dua sumbu (*azimuth*) yang berbasis kontrol PID dengan arduino mega 2560?
- Bagaimana sistem kontrol sumbu *azimuth* bekerja?
- Bagaimana perbandingan daya yang dihasilkan dengan menggunakan *tracking* dan *non tracking*?

## 1.3 Tujuan

Tujuan tugas akhir yang diambil adalah :

- Dapat merancang dan membuat desain mekanik *solar tracker*.
- Dapat merancang dan membangun *solar tracking system* dua sumbu (*azimuth*) menggunakan kontrol PID dengan arduino mega 2560.

- Mengetahui dan memahami cara kerja sistem pengendalian *solar tracking system* khususnya pada sumbu *azimuth*.
- Menganalisis perbandingan daya output antara *solar cell tracking* dan *non tracking*.

#### 1.4 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penyelesaian masalah pada penelitian tugas akhir ini maka batasan masalah yang diangkat adalah sebagai berikut :

- Alat yang akan dirancang dan dibangun hanya membahas tentang sudut putar *azimuth*.
- Komposisi sudut putar *azimuth* terdiri dari LDR, Arduino, Motor servo.
- Model penyusunan sensor.
- Penerapan kontrol PID di arduino pada *solar tracking* dua sumbu (*azimuth*).

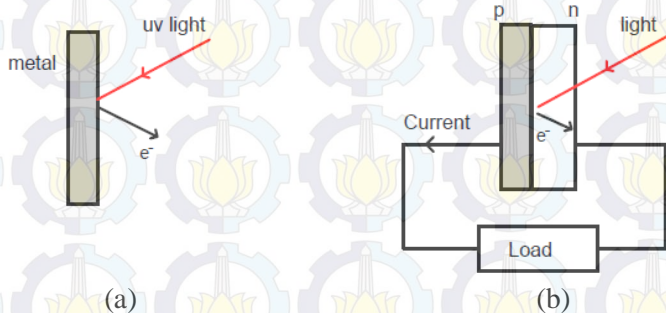


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Solar Cell

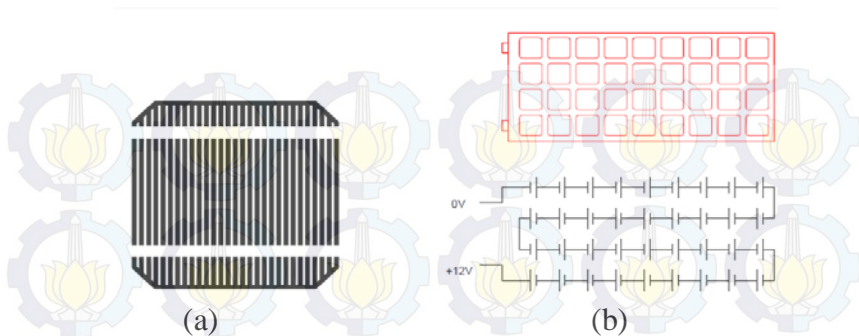
*Solar cell* atau *photovoltaic* merupakan suatu *device* yang mampu menghasilkan listrik dari energi cahaya. Cahaya terdiri dari paket energi yang biasa disebut sebagai *photon*. Pada saat energi *photon* atau cahaya mengenai permukaan *solar cell*, maka *photon* akan mendorong elektron bebas di dalam kristal silikon bergerak keluar melalui sirkuit eksternal dan kembali lagi melalui sisi lain *solar cell* [2]. *Solar cell* dapat menerima energi cahaya secara terus menerus dalam intensitas tertentu. Berikut merupakan gambaran pelepasan elektron di *solar cell*.



**Gambar 2.1** (a) *photoelectric effect*, (b) *photovoltaic effect* [2]

Gambar 2.1 (a) merupakan gambaran *photoelectric effect*. Sinar *ultra violet* akan membebaskan elektron dari permukaan logam. Sedangkan gambar (b) merupakan *photovoltaic effect* yang terjadi dalam *solar cell*.





**Gambar 2.2** (a) *Solar Panel* (b) Kumpulan *solar cell* yang di seri

Energi matahari merupakan sumber energi yang paling menjanjikan mengingat sifatnya yang berkelanjutan (*sustainable*) serta jumlahnya yang sangat besar. Matahari merupakan sumber energi yang diharapkan dapat mengatasi permasalahan kebutuhan energi masa depan setelah berbagai sumber energi konvensional berkurang jumlahnya serta tidak ramah terhadap lingkungan. Jumlah energi yang begitu besar yang dihasilkan dari sinar matahari, membuat *solar cell* menjadi alternatif sumber energi masa depan yang sangat menjanjikan. *Solar cell* juga memiliki kelebihan menjadi sumber energi yang praktis mengingat tidak membutuhkan transmisi karena dapat dipasang secara modular di setiap lokasi yang membutuhkan. Cara kerja sel surya adalah dengan memanfaatkan teori cahaya sebagai partikel. Sebagaimana diketahui bahwa cahaya baik tampak maupun yang tidak tampak memiliki dua buah sifat yaitu dapat sebagai gelombang dan dapat sebagai partikel yang disebut dengan *photon*. Energi matahari yang dipancarkan mempunyai kecepatan  $c$  dan panjang gelombang  $\lambda$  [2].

## 2.2 Solar Tracker

*Solar tracker* adalah gabungan suatu sistem yang mampu mendeteksi dan mengikuti arah matahari agar dapat



memaksimalkan penerimaan dari energi cahaya. *Solar tracker* ini akan diterapkan pada *photovoltaic* atau *solar panel*. Tujuan diberikannya tracking pada *photovoltaic* adalah agar dapat mengoptimalkan daya keluaran dari PV. Semakin tegak lurus PV dengan matahari, maka semakin besar pula daya output yang dihasilkan. Hal ini tentunya sangat berpengaruh pada jumlah energi listrik yang dihasilkan dalam setiap hari. Energi listrik yang dihasilkan akan meningkat jika dibandingkan dengan *solar panel* yang bersifat statis. *Solar tracker* terdiri dari beberapa komponen penting seperti sensor, *controller*, motor servo, *battery* dan *photovoltaic*. Penelitian tentang *solar tracker* yang berkembang selama ini, dapat menggunakan berbagai jenis control agar tracking berjalan optimal. Namun dikarenakan adanya sistem *tracker* akan menjadi tantangan untuk para peneliti untuk mengembangkannya. Hal ini karena diperlukan catu daya yang cukup besar untuk dapat mengoperasikan motor penggerak.

Keluaran dari *solar panel* menghasilkan arus listrik searah (DC). Padahal pada umumnya sebagian besar peralatan elektronik memerlukan input arus AC. Dikarenakan hal tersebut, maka diperlukan sebuah alat tambahan berupa *inverter* DC ke AC. *Inverter* tersebut diletakkan setelah *battery*. Jadi disimpan dalam *battery* atau *accu* DC, kemudian setelah disimpan arus listrik dirubah dari DC menjadi AC oleh rangkaian *inverter*. Arus bolak balik (AC) inilah yang akan digunakan untuk kebutuhan sehari-hari<sup>[4]</sup>.

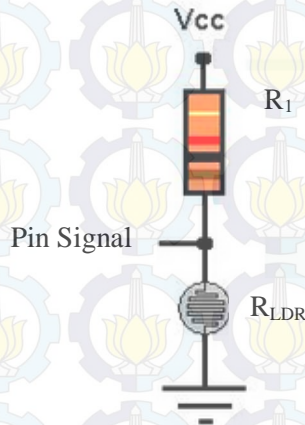
### 2.3 LDR (*Light Dependent Resistant*)

LDR adalah suatu komponen elektronika yang memiliki hambatan yang dapat berubah sesuai perubahan intensitas cahaya. LDR singkatan dari *Light Dependent Resistor* atau Resistor yang terpengaruh cahaya.

Prinsip kerja dari LDR adalah ketika ada cahaya mengenai LDR, maka hambatan dari LDR akan menurun sehingga arus yang mengalir melalui LDR semakin meningkat. Ketika gelap hambatan dari LDR akan meningkat dan arus yang mengalir melalui LDR semakin menurun. Fenomena inilah yang

diamanfaatkan sebagai sensor cahaya. Adanya perbedaan nilai arus dari sensor digunakan sebagai masukan analog pada Arduino[5].

Besarnya hambatan LDR sendiri berbeda-beda tergantung ukuran dan bentuknya. Semakin rapat pola garis di permukaannya biasanya perubahan hambatannya akan semakin besar (lebih sensitif terhadap cahaya). Naik turunnya nilai hambatan akan sebanding dengan jumlah cahaya yang diterima. Nilai hambatan LDR akan mencapai  $200\text{ k}\Omega$  pada kondisi gelap, dan akan menurun  $500\text{ }\Omega$  pada kondisi terang. Sebelum dimasukkan ke mikrokontroller, LDR dimasukkan dalam sebuah rangkaian *voltage divider*. Hal ini dikarenakan untuk mengubah resistansi dari LDR menjadi tegangan sesuai dengan kebutuhan input mikrokontroller.



**Gambar 2.3** *Voltage divider* dan LDR

## 2.4 Arduino

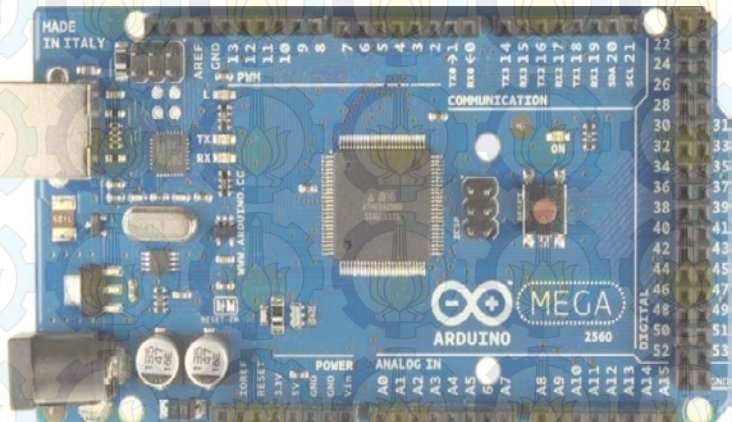
Arduino adalah pengendali mikro single-board yang bersifat open-source, diturunkan dari Wiring platform, dirancang dan dibuat untuk memudahkan penggunaan peralatan elektronik dalam berbagai bidang. Perlu dipahami bahwa kata “platform” di atas berarti Arduino tidak hanya sekedar sebuah alat pengembangan, tetapi arduino merupakan kombinasi dari sebuah

hardware, bahasa pemrograman dan Integrated Development Environment (IDE) yang canggih. IDE adalah software yang sangat berperan dan berguna untuk menulis program, meng-compile menjadi kode biner dan meng-upload ke dalam memory mikrokontroler<sup>[6]</sup>.

Hardware Arduino memiliki prosesor Atmel AVR dan softwrenya memiliki bahasa pemrograman sendiri. Didalam arduino terdapat analog input dan digital input output.

Kelebihan Modul Arduino antara lain :

- a. Mudah digunakan , cocok sekali untuk pemula.
- b. Fungsi Library (code program tinggal pakai) untuk mengakses hardware sangat banyak. Hardware hardware tsb antara lain bluetooth, berbagai macam sensor, GSM board, GPS , dan lain-lain.
- c. Tidak memerlukan downloader



**Gambar 2.4** Arduino Mega 2560



Motor servo merupakan sebuah motor DC yang dilengkapi rangkaian kontrol dengan sistem *closed feedback* yang saling terintegrasi dengan motor tersebut. Posisi sumbu putar pada servo akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo. Motor servo disusun dari sebuah motor DC, *gearbox*, variabel resistor ( $V_R$ ) atau potensiometer dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas

maksimum putaran sumbu (*axis*) motor servo. Sedangkan sudut dari sumbu servo akan diatur menurut lebar pulsa yang pada pin kontrol motor servo. Motor servo akan mampu bekerja secara dua arah (CW dan CCW) dimana arah serta sudut pergerakan motornya dapat dikendalikan dengan memberikan variasi lebar pulsa (*duty cycle*) sinyal PWM yang terletak pada bagian pin kontrolnya.

Jenis Motor Servo :

a. Motor Servo Standar 180°

Pada servo jenis ini, motor hanya dapat bergerak dalam dua arah (CW dan CCW) dengan penyimpangan masing-masing sudut mencapai 90°. Berdasarkan penyimpangan sudut tersebut, maka jumlah penyimpangan dari kanan ke tengah ke kiri sebesar 180 °.

b. Motor Servo *Continuous*

Motor servo jenis ini mampu bergerak dua arah (CW dan CCW) tanpa ada batasan penyimpangan sudut putar. Artinya motor servo jenis ini dapat berputar secara terus – menerus atau kontinyu.



**Gambar 2.6** Motor Servo HS-805BB



Spesifikasi :

Sistem Kontrol : +Pulse Width Control 1500usec Neutral

Tegangan Operasional : 4.8-6.0 Volts

Range Suhu : -20 sampai +60 °C

Kecepatan Operasional (4.8V): 0.19sec/60° tanpa beban

Kecepatan Operasional (6.0V): 0.14sec/60° tanpa beban

Torsi motor (4.8V): 274.96 oz/in. (19.8kg.cm)

Torsi motor (6.0V): 343.01 oz/in. (24.7kg.cm)

Sudut Operasional: 45° one side pulse traveling 400usec

Type motor : Continuous Rotation Modifiable

Arus (4.8V): 8mA (diam) dan 700mA tanpa beban

Arus (6.0V): 8.7mA (diam) dan 830mA tanpa beban

Dimensi : 2.59" x 1.18"x 2.26" (66 x 30 x 57.6mm)

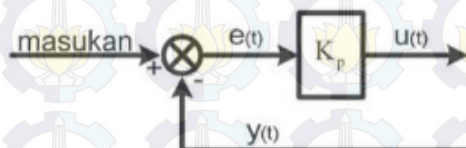
Berat : 152 gr [7] .

## 2.6 Kontrol PID ( Proportional Integral Derivative )

Kontrol PID merupakan salah satu metode control yang digunakan untuk memperbaiki respon sistem. Kontrol proporsional berfungsi untuk memperkuat sinyal kesalahan penggerak (sinyal error), sehingga akan mempercepat keluaran sistem mencapai titik setpoint. Berikut merupakan hubungan antara input controller  $u(t)$  dengan sinyal error  $e(t)$  [8].

$$u(t) = K_p e(t) \dots\dots\dots (2.1)$$

Berikut merupakan diagram blok kontrol proporsional :



**Gambar 2.7** Kontrol Proporsional [8]

Input akan disumming dengan feedback. Error sinyal yang dihasilkan dari penjumlahan tersebut dikalikan dengan konstanta proporsional ( $K_p$ ) dan akan menghasilkan input controller  $u(t)$ .

Kontrol integral ( $K_p$ ) pada prinsipnya bertujuan untuk menghilangkan kesalahan offset yang biasanya dihasilkan oleh kontrol proporsional. Hubungan antara output kontrol integral  $u(t)$  dengan sinyal error  $e(t)$  terlihat pada persamaan 2.2

$$u(t) = Ki \int_0^t e(t) d(t) \dots\dots\dots (2.2)$$

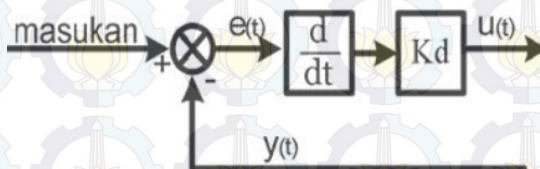


**Gambar 2.8** Kontrol Integral [8]

Kontrol derivatif dapat disebut pengendali kecepatan, hal ini dikarenakan Output dari controller sebanding dengan laju perubahan sinyal error. Hubungan antara output kontrol derivatif  $u(t)$  dengan sinyal error  $e(t)$  terlihat pada persamaan 2.3

$$u(t) = Kd \frac{d(e)t}{dt} \dots\dots\dots (2.3)$$

Diagram blok kontrol derivatif dapat dilihat pada Gambar 2.9

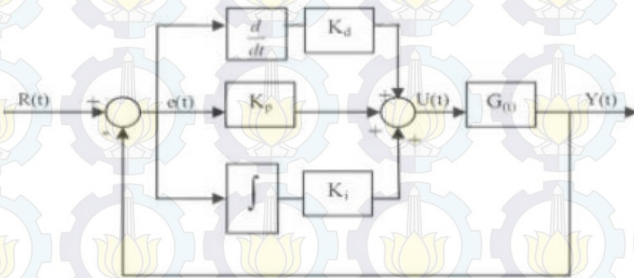


**Gambar 2.9** Kontrol Derivatif [8]

Kontrol derivatif ( $K_d$ ) tidak akan pernah digunakan sendirian, karena controller ini hanya akan aktif pada periode peralihan. Pada periode peralihan, kontrol derivatif menyebabkan adanya redaman pada sistem sehingga lebih memperkecil lonjakan. Seperti pada kontrol proporsional, kontrol derivatif juga tidak dapat menghilangkan *offset*.

Gabungan dari ketiga controller tersebut akan menjadi sebuah kontrol PID. Kontrol PID inilah yang biasanya banyak digunakan dalam proses kontrol atau sistem pengendalian. Dibawah ini merupakan persamaan dan diagram blok dari kontrol PID [8].

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) d(t) \dots \dots \dots (2.4)$$



**Gambar 2.10** Kontrol PID [8]

Keterangan :

$u(t)$  = sinyal output pengendali PID

$K_p$  = konstanta proporsional

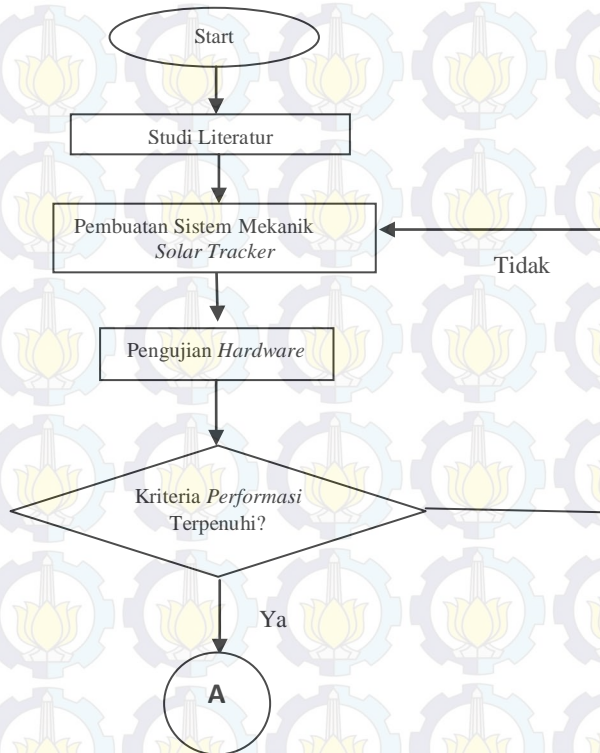
$K_i$  = konstanta integral

$K_d$  = konstanta derivatif

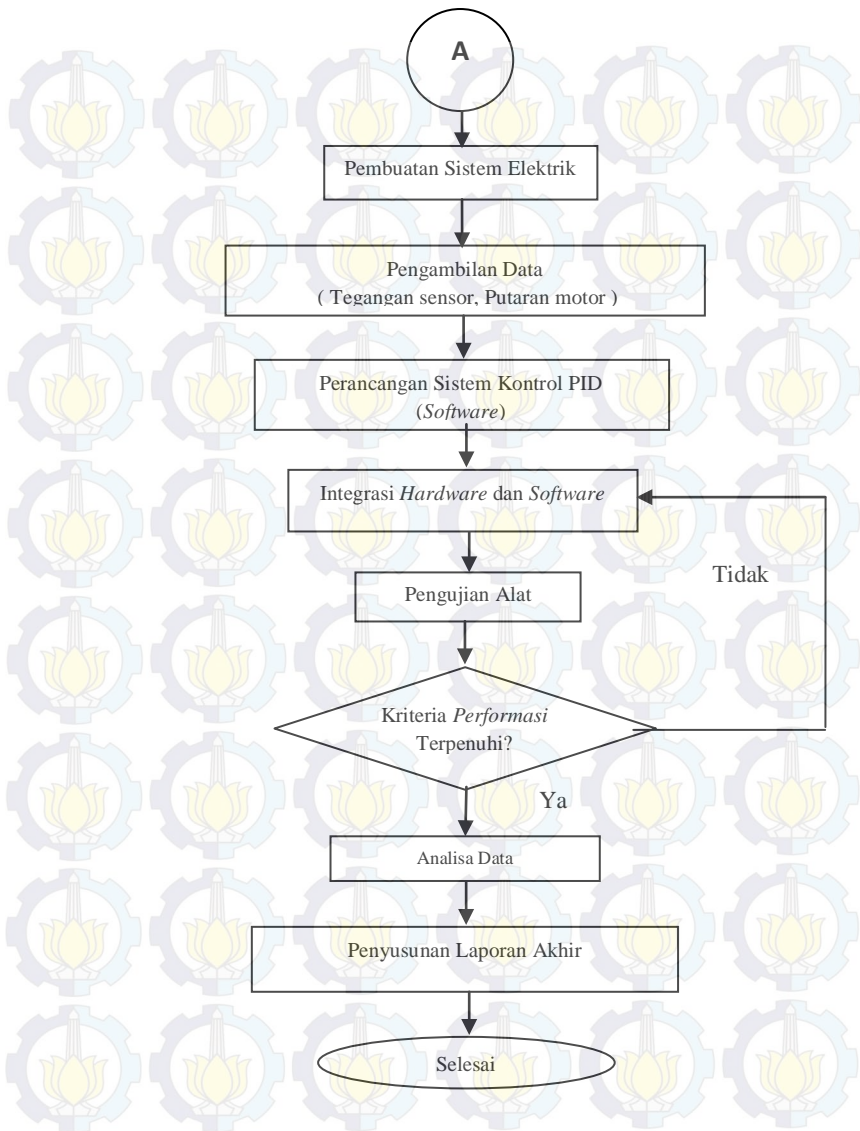
$e(t)$  = sinyal error

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan langkah – langkah perancangan dan pembuatan *solar tracking system* menggunakan kontrol PID pada sumbu *azimuth*. Berikut merupakan diagram alur yang dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir adalah sebagai berikut :







**Gambar 3.1** Diagram alur penelitian tugas akhir



Berikut merupakan tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pengerjaan Tugas Akhir

a. *Study Literatur*

Studi Literatur ini merupakan pengumpulan informasi yang berkaitan dengan komponen – komponen tugas akhir. Selain itu dalam tahapan ini, akan dilakukan pembentukan konsep yang jelas guna untuk pengerjaan tugas akhir. Diantaranya dilakukan pencarian tentang pemodelan sistem mekanik *solar tracking*, komponen yang dipakai, dan model sensor yang akan digunakan.

b. *Pembuatan Sistem Mekanik*

Pada tahapan ini dilakukan perancangan dan pembuatan sistem mekanik dan sensor yang akan dipakai. Perancangan dan penggambaran dilakukan dengan menggunakan *software google sketchup 8* dan *Ms Word 07*. Selanjutnya dilakukan pembuatan *hardware* atau sistem mekanik secara *real* sesuai dengan apa yang telah dirancang sebelumnya.

c. *Pengujian Hardware*

Pada saat *hardware* atau sistem mekanik jadi, maka dilakukan pengujian. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan apakah sistem mekanik dapat berjalan sesuai dengan rancangan dan memastikan beban sistem mekanik masih dibawah dari torsi motor servo yang dipakai.

d. *Pembuatan Sistem Elektrik*

Pembuatan Sistem Elektrik ini adalah perancangan dan instalasi rangkaian elektrik yang akan diaplikasikan pada sistem mekanik. Besaran sistem elektrik yang akan dipakai untuk pengujian selanjutnya adalah arus, tegangan PV, dan putaran motor.

e. *Pengambilan Data*

Tahap ini digunakan untuk pengambilan data seperti tegangan, arus, putaran motor, output PV.

f. *Perancangan Sistem Kontrol PID*

Tahap ini akan dilakukan pembuatan *software* pada arduino. Sistem kontrol yang dipakai adalah berbasis

PID. Jadi, pembuatan coding akan didasarkan pada kontrol PID. Tujuan digunakan kontrol PID adalah supaya respon dari motor cepat dan akan memperhalus putaran motor.

g. Integrasi *Hardware* dan *Software*

Integrasi *hardware* dan *software* dilakukan setelah semua komponen-komponen penyusun *solar tracking* selesai. Dalam Integrasi akan dilakukan pengujian alat secara keseluruhan.

h. Analisa Data

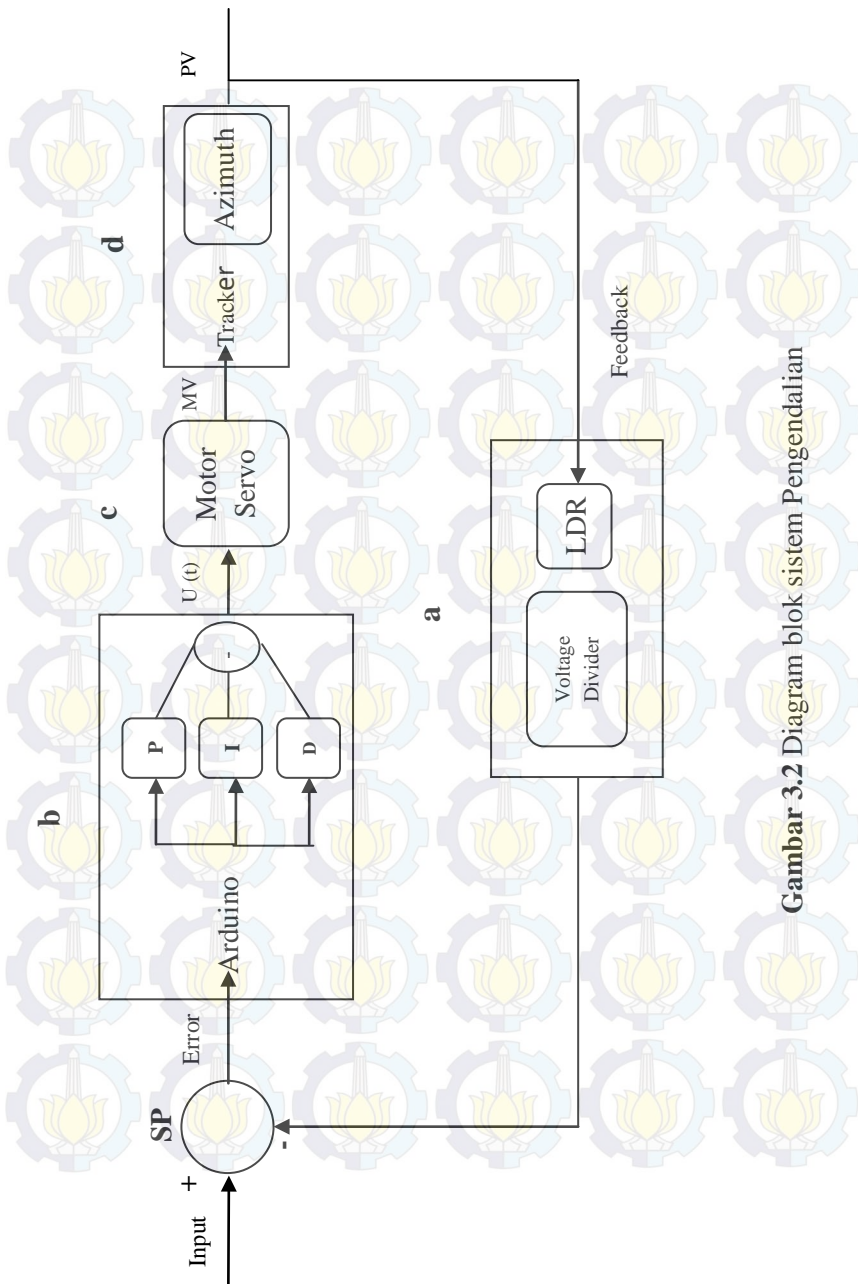
Analisa Data digunakan untuk melihat seberapa efisiensi yang didapat serta seberapa baik kinerja dari *solar tracking system* yang sudah dikerjakan.

i. Penyusunan Laporan Akhir

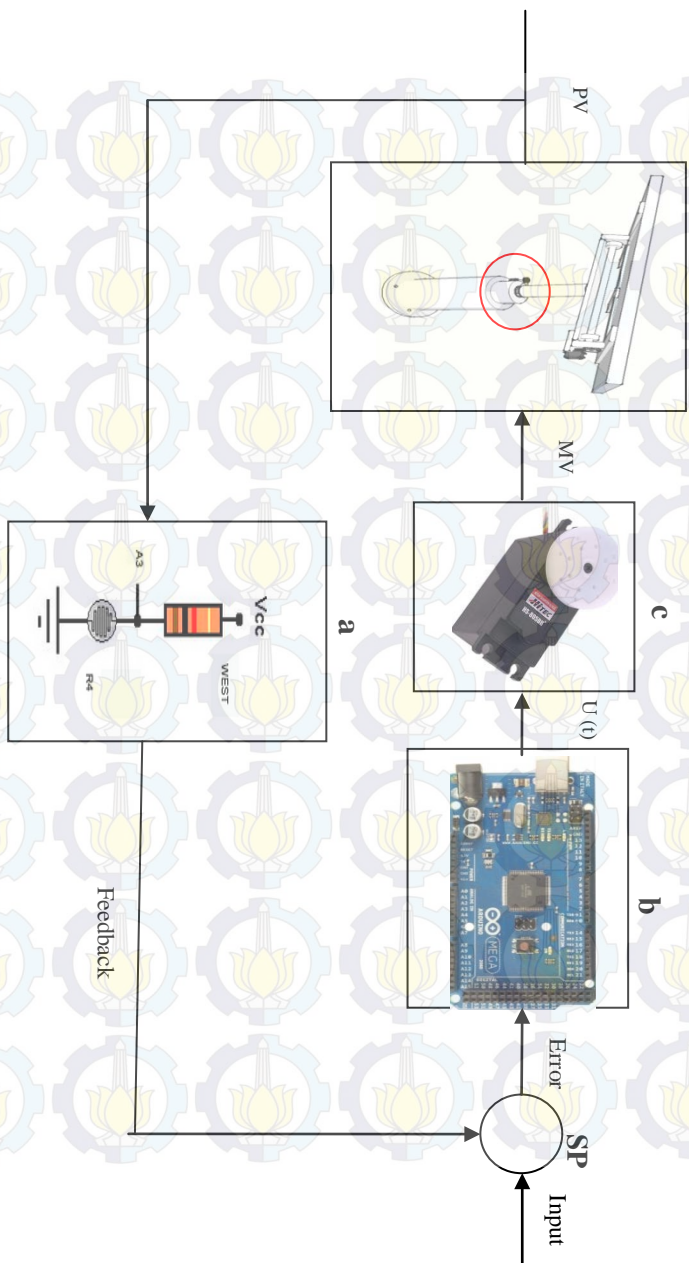
Tahapan terakhir merupakan penyusunan laporan akhir yang isinya membahas seluruh kegiatan dari awal sampai akhir.

### 3.1 Diagram Blok

Tugas akhir ini secara umum membahas tentang sistem pengendalian. Sistem pengendalian yang dibahas adalah sistem pengendalian *solar tracker* pada sumbu *azimuth*. Komponen sistem pengendalian yang dibahas meliputi sensor, *controller*, *actuator*, dan *Plan*. Didalam komponen-komponen tersebut juga diberikan rangkaian pengkondisian. Berikut merupakan diagram blok dari sistem pengendalian *solar tracker* yang sudah dibuat adalah sebagai berikut :



**Gambar 3.2** Diagram blok sistem Pengendalian



Gambar 3.3 Diagram blok sistem Pengendalian animasi



- a. Sensor : LDR
- b. Kontroller : Arduino (PID)
- c. Aktuator : Motor Servo
- d. Plan : *Solar Tracker* (sumbu *azimuth*)

Pada saat LDR terkena cahaya maka akan mengubah hambatan menjadi kecil. Akibatnya arus yang lewat semakin besar. Arus tersebut akan bertemu dengan resistor dan dapat menghasilkan tegangan. Tegangan inilah yang dijadikan sebagai input arduino. Arduino disini berfungsi sebagai kontroller. Bertugas dalam pengaturan motor servo sesuai inputan dari sensor. Arduino akan bekerja sesuai dengan perintah yang diberikan. Perintah tersebut ditulis dalam bahasa C. Dalam arduino juga diberikan coding kontrol PID. Jadi tugas kontrol PID disini adalah memperbaiki respon sistem dari hasil coding konvensional yang ditulis sebelumnya.

Output yang dipakai arduino untuk menggerakkan motor lewat pin PWM 9. Output ini akan menghasilkan data berupa digital. Dengan adanya output tersebut, motor servo yang berperan sebagai actuator akan bergerak sesuai input dari LDR yang telah dikontrol oleh arduino. Dengan bergeraknya motor servo, maka akan menggerakkan sudut *azimuth* ke arah cahaya datang.

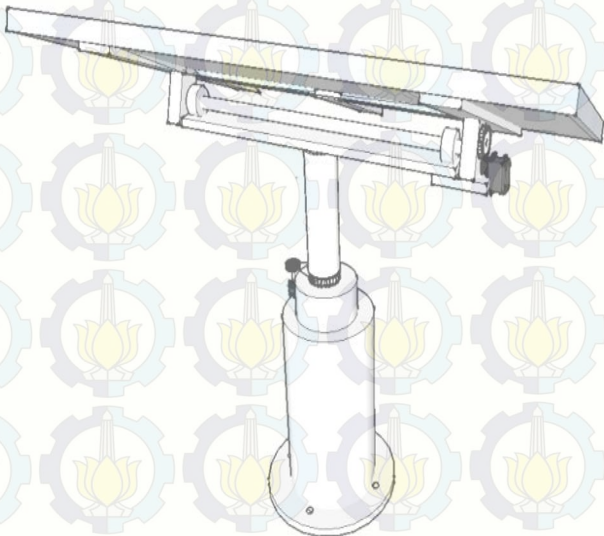
### **3.2 Pembuatan *Hardware***

Pada sub bab ini dilakukan perancangan dan pembuatan *hardware solar tracker*. Dalam penelitian Tugas akhir kali ini, pembuatan *hardware* dibagi menjadi dua. Yaitu pembuatan sistem mekanik dan sistem elektrik . Yang pertama adalah pembuatan sistem mekanik *solar tracker*. Pembuatan sistem mekanik *solar tracker* dilakukan dengan membuat kerangka peletakan *solar panel*. Selain kerangka peletakan *solar panel*, dibuat juga kerangka mekanik untuk sumbu *azimuth* dan *zenith*. Yang kedua adalah pembuatan sistem elektrik *solar tracker*. Sistem elektrik *solar tracker* berperan sebagai rangkaian elektronika yang digunakan untuk menghubungkan atau

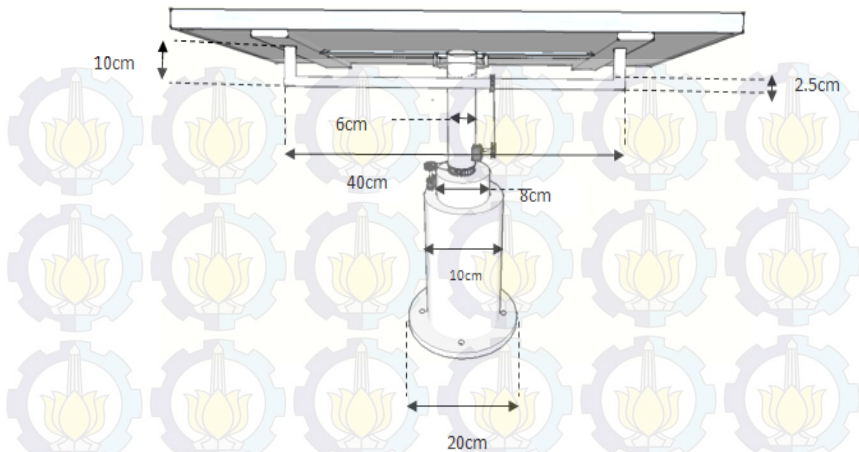
mengkondisikan antara kontroller ke aktuator. Sistem elektrik *solar tracker* meliputi sistem kontrol dan rangkaian-rangkaian pengkondisian seperti voltage divider. Berikut merupakan proses pembuatan *hardware* yang telah dilakukan

### 3.2.1 Pembuatan Sistem Mekanik

Sistem mekanik merupakan salah satu hal yang paling penting dalam terciptanya *solar tracker*. Sistem Mekanik berfungsi sebagai peletakkan *solar panel*, sebagai poros sumbu putar *azimuth* dan sumbu *zenith*. Pembuatan sistem mekanik *solar tracker* dimulai dari perancangan dengan menggunakan *software Google sketchup 8* dan *Ms Word*. *Google Sketchup 8* berfungsi untuk mendesain gambar *solar tracker*.

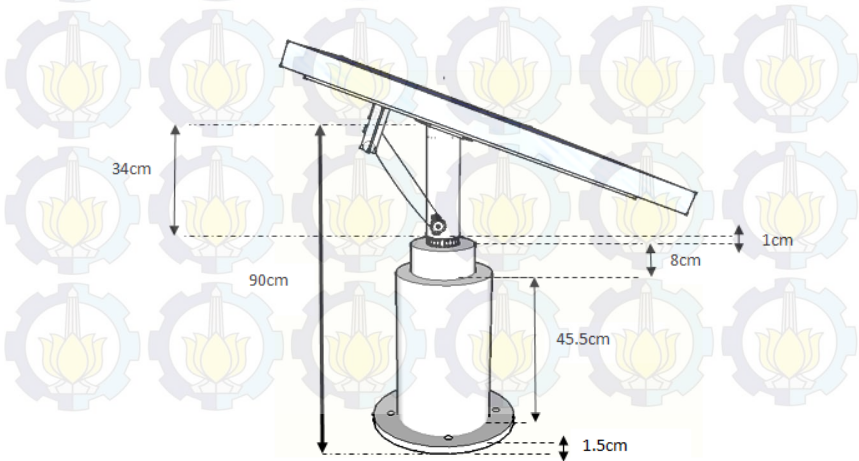


**Gambar 3.4** Desain *Solar tracker*



**Gambar 3.5** Dimensi *solar tracker* belakang

Gambar 3.4 merupakan desain dan dimensi solar tracker setelah dibuat pada *Google sketchup* 8. Dimensi atau ukuran diatas berdasarkan tampak belakang dari mekanik *solar tracker*. Pemberian dimensi, dilakukan dengan menggunakan *Microsoft Word*. Sedangkan pada gambar 3.5 merupakan desain solar tracker tampak samping.



**Gambar 3.6** Dimensi *solar tracker* samping

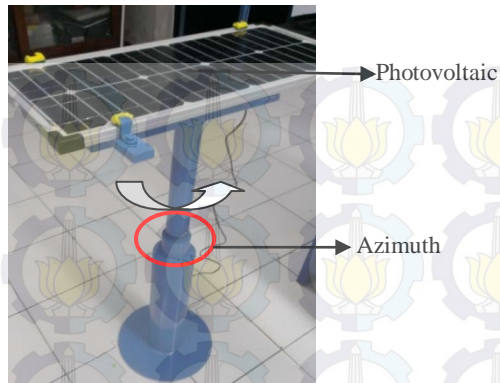
Pada saat perancangan selesai, dilakukan pemilihan bahan sistem mekanik sekaligus dengan pembuatannya. Pembuatan dilakukan dengan cara memotong dan mengelas besi yang sudah dipilih. Poin penting dalam pembuatan sistem mekanik ini terletak pada sumbu *azimuth* dan *zenith*. Sumbu putar dibuat dengan menggunakan laker berdiameter 5cm. Dibawah ini merupakan gambar sistem mekanik *solar tracker* awal.



**Gambar 3.7** Sistem mekanik awal

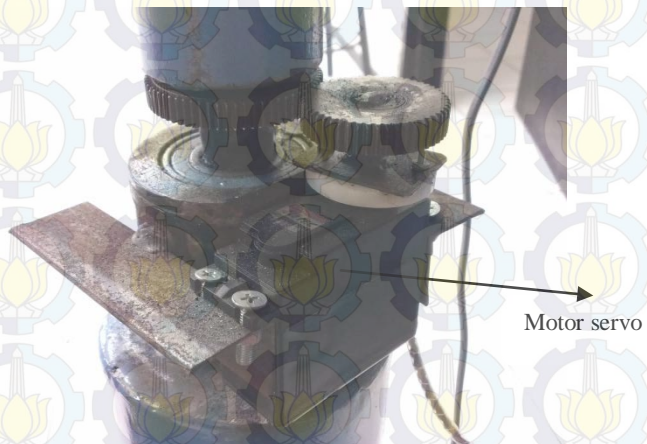
Selanjutnya dilakukan penyempurnaan mekanik dengan membuat kerangka peletakkan *solar* panel sesuai ukuran yang sudah ditentukan. Berikut merupakan sistem mekanik *solar tracker* yang telah dibuat dan sumbu putar *azimuth*.





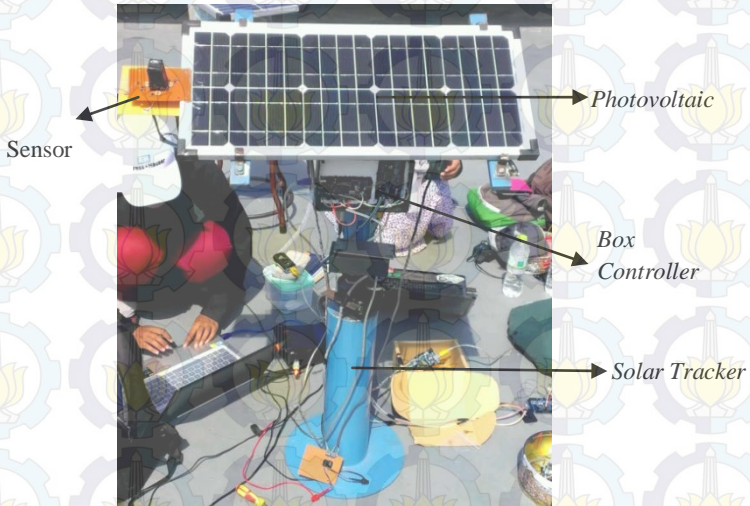
**Gambar 3.8** Sumbu Azimuth

Gambar 3.7 merupakan mekanik *solar tracker* yang telah dibuat. Pada tanda lingkaran merah merupakan sumbu *azimuth* dari *solar tracker* tersebut. Sedangkan pada gambar 3.8 merupakan pemasangan motor servo pada sumbu *azimuth*. Sebelum pemasangan motor servo, dilakukan terlebih dahulu pemasangan gerigi pada mekanik.



**Gambar 3.9** Motor Sumbu Azimuth

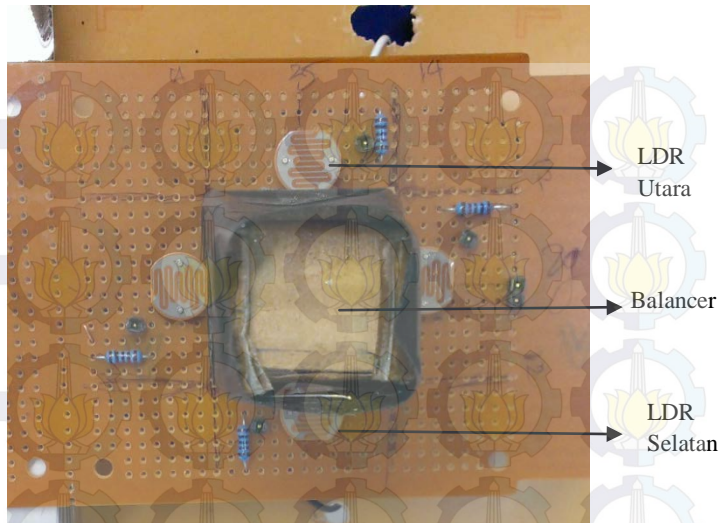
Motor servo dipasang pada dua sumbu, yaitu sumbu *zenith* dan *azimuth*. Pada mekanik *solar tracker* dilakukan pembuatan *box controller*. *Box controller* ini berfungsi sebagai penempatan arduino. Berikut merupakan *solar tracker* yang telah dibuat.



**Gambar 3.10** *Solar Tracker*

### 3.2.2 Pembuatan Sistem Elektrik

Pada *solar tracker* yang dibuat, sistem elektrik berperan penting dalam proses sistem pengendalian. Sistem elektrik berfungsi sebagai rangkaian sensor dan rangkaian pengendali plan. Sensor LDR digabungkan dengan voltage divider. Hal ini dikarenakan untuk mengkondisikan output dari sensor. Output sensor LDR berupa resistansi sehingga perlu dikondisikan agar menjadi tegangan. Voltage divider berfungsi untuk mengubah hambatan menjadi tegangan. Tegangan tersebutlah yang digunakan sebagai input arduino mega 2560. Gambar dibawah ini merupakan rangkaian sensor yang dipakai.

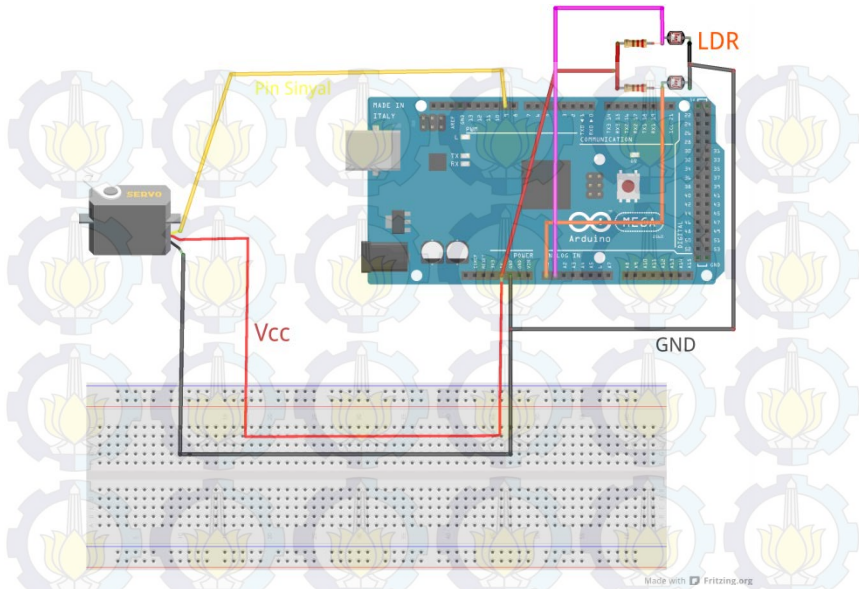


**Gambar 3.11** Rangkaian sensor

Rangkaian sensor diatas disambungkan dengan arduino mega 2560. Senor LDR yang dipakai dalam sumbu zenith terletak pada kanan dan kiri *balancer* atau penghalang. Pin yang digunakan adalah Pin A0 dan A1. Pin tersebut berfungsi sebagai input sensor. Output yang dipakai untuk menggerakkan motor servo adalah PWM 9. PWM merupakan pin yang bertipe digital.

Motor servo memiliki tiga kaki atau input. Ketiga input tersebut adalah pin sinyal, Vcc, dan Ground. Pin PWM 9 arduino disambungkan dengan pin sinyal dari motor servo. Pada saat pin A0 dan A1 diberikan tegangan, PWM 9 akan menghasilkan output tegangan sesuai perintah yang ditentukan. Dengan adanya hal tersebut maka motor servo akan bergerak. Berikut merupakan gambar schematic keseluruhan yang dipakai dalam *solar tracker*.





**Gambar 3.12** Schematic Rangkaian Elektrik

### 3.3 Pembuatan *Software* (Arduino)

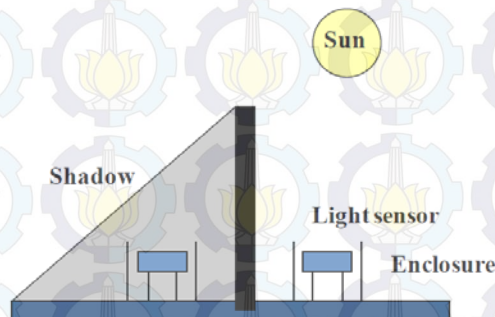
Pembuatan coding dilakukan dengan menggunakan *software* bawaan dari arduino. *Software* ini biasa disebut IDE (Integrated Development Environment). Pada sistem pengendalian ini digunakan metode kontrol PID. Fungsi dari kontrol PID ini adalah memperbaiki respon sistem. Sehingga error yang dihasilkan dari sensor dapat dikurangi. Pada *software* arduino (IDE) ditulis program tracker konvensional. Program tracker konvensional ini secara umum berisi tentang penamaan, penginisialisasi, pemilihan tipe data, pemberian logika pada sensor dan motor. Sensor yang dipakai adalah LDR, sedangkan aktuatornya berupa motor servo.

Sensor di integrasikan ke dalam program arduino dengan melewati pin analog 1 dan analog 2. Dengan menggunakan pin tersebut, maka pada program ditulis `analogRead 1` dan `analogRead 2`. Itu berarti input dari pin tersebut berupa tegangan atau data analog. Pin tersebut akan mengubah-ubah data analog



sesuai listing program yang ditulis. Motor servo diintegrasikan ke dalam program arduino dengan melewati pin PWM 9 (digital). Pin ini berfungsi sebagai penghubung antara listing program dari LDR ke motor servo.

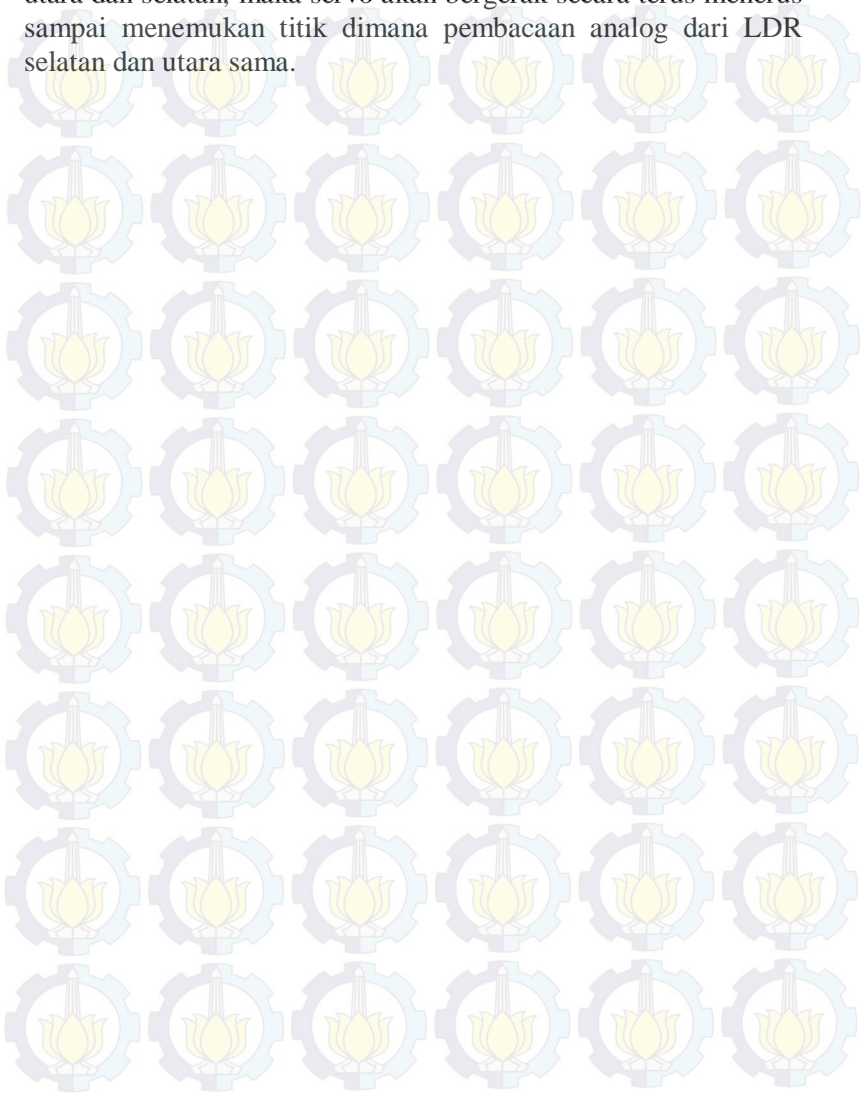
Pada listing program konvensional diberikan logika pergerakan motor servo berdasarkan input dari LDR. Pada saat pembacaan analog LDR sebelah selatan lebih besar daripada LDR utara, maka akan mengakibatkan servo bergerak searah jarum jam. Penambahan putaran servo setiap waktu tertentu sebanyak satu derajat dan akan bertambah terus. Begitu juga sebaliknya, pada saat LDR selatan kurang dari LDR sebelah utara, maka motor servo akan bergerak terbalik dengan arah jarum jam. Penambahan gerak servo pada waktu tertentu sama, yaitu sebanyak satu derajat secara terus menerus. Jika nilai pembacaan analog dari LDR selatan dan timur sama, maka motor servo akan berhenti berputar. Nilai LDR selatan akan berbeda dengan utara jika salah satu terkena cahaya, dan yang lainnya terkena bayangan dari halangan benda di tengah sensor (*balancer*). Dibawah ini merupakan gambaran sensor LDR pada saat langsung terkena sinar matahari dan bayangan yang dihasilkan oleh penghalang (*balancer*).



**Gambar 3.13** Perbandingan LDR [9]

Gambar 3.12 merupakan gambaran dasar logika yang dipakai dalam pembuatan program arduino. Salah satu LDR tertutup oleh bayangan, dan LDR yang lainnya terkena langsung

cahaya matahari. Dengan perbedaan pembacaan analog dari LDR utara dan selatan, maka servo akan bergerak secara terus menerus sampai menemukan titik dimana pembacaan analog dari LDR selatan dan utara sama.



## **BAB IV**

### **ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

Data yang diambil dalam penelitian tugas akhir ini meliputi data pengujian komponen, analisa sistem kontrol PID, output daya *photovoltaic* dari *tracker* dan *fixed*. Selain itu, pergerakan sumbu *azimuth* berdasarkan metode perhitungan dan pembacaan sensor menjadi bagian penting untuk dianalisa. Besaran fisis yang dipakai adalah *Volt*, *Watt*, *Ampere* dan sudut derajat. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan pembacaan sensor masing-masing yang diletakkan pada plan *solar tracker*.

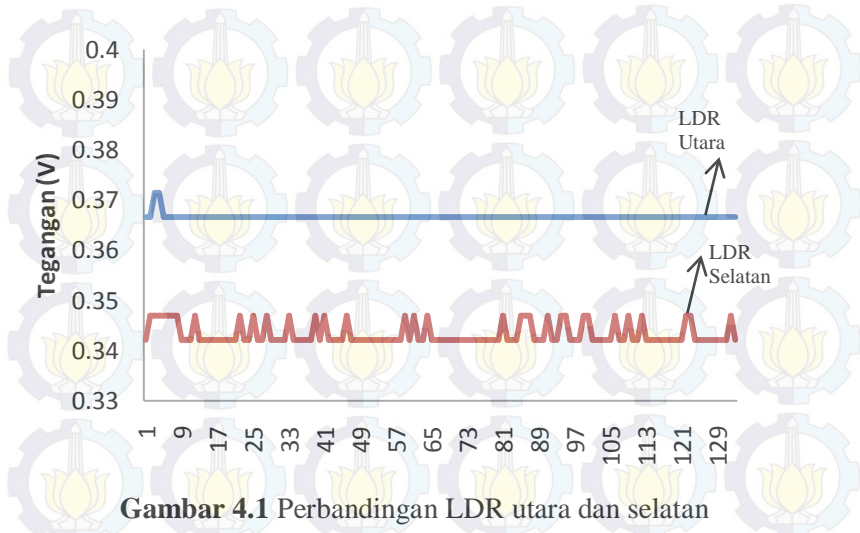
#### **4.1 Data Pengujian Komponen**

Pada saat pemasangan komponen-komponen yang diperlukan, dilakukan beberapa pengujian untuk mengetahui perbandingan kualitas atau *performansi* dari setiap komponen yang dipakai. Pengujian komponen perlu dilakukan untuk mengetahui seberapa layak komponen tersebut dipakai. Komponen yang diuji dalam pembuatan *solar tracker* ini ada dua, yaitu pengujian sensor dan pengujian dua *photovoltaic* yang dipakai.

##### **4.1.1 Pengujian Sensor**

Sensor yang dipakai pada Sistem pengendalian ini adalah sensor LDR. LDR bekerja berdasarkan besarnya cahaya yang masuk. Semakin banyak cahaya yang masuk, maka semakin kecil hambatan yang dihasilkan. Dan semakin sedikit cahaya yang masuk, maka akan semakin besar hambatannya. Keluaran dari LDR berupa hambatan atau resistansi. Diperlukan sebuah rangkaian voltage divider untuk mengubah hambatan tersebut menjadi tegangan. Berikut merupakan perbandingan tegangan LDR utara dan selatan yang dipakai dalam *Solar Tracking System*.

### Perbandingan Uji LDR



**Gambar 4.1** Perbandingan LDR utara dan selatan

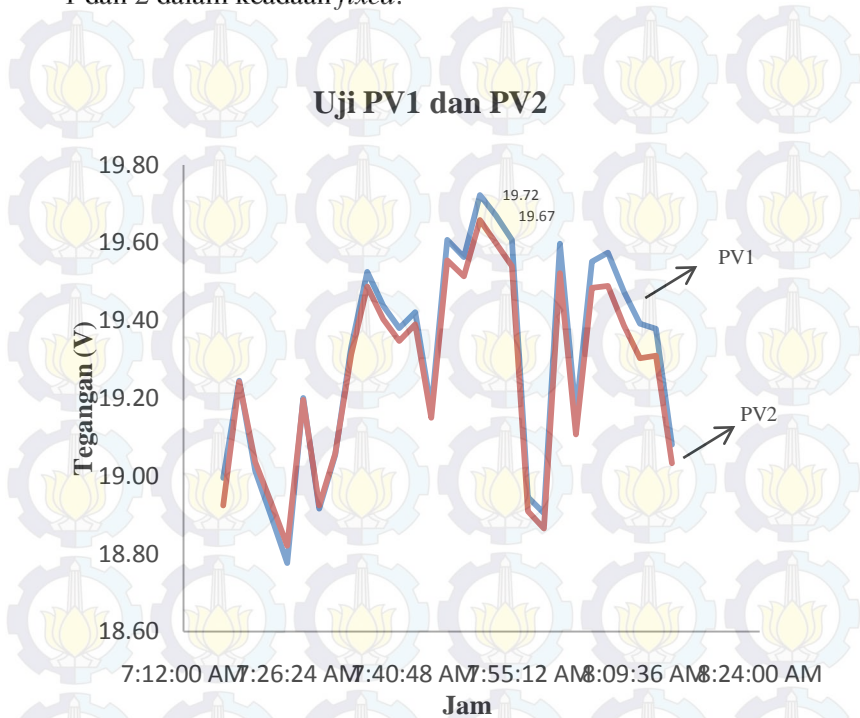
Gambar 4.1 merupakan grafik hasil dari pengujian sensor LDR. Pengujian dilakukan langsung pada sinar matahari. Pengujian dilakukan pada jam 11.45 WIB. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, dapat disimpulkan bahwa perbandingan nilai LDR utara dan selatan ketika sama-sama menerima cahaya tidak terlalu jauh. Selisih terbesar antara LDR utara dan selatan adalah sebesar 0.024438 volt. Dengan tidak terpaut jauh tegangan yang dihasilkan, maka perbandingan kualitas atau *performansi* sensor LDR utara dan selatan masih bisa dianggap setara.

#### 4.1.2 Pengujian 2 Photovoltaic fixed

Salah satu komponen utama yang ada pada *solar tracking system* ini adalah *photovoltaic* atau *solar panel*. *Photovoltaic* inilah yang nantinya akan menerima cahaya matahari dan dirubah menjadi tegangan. Photovoltaic yang digunakan dalam Tugas akhir ini ada dua. Yang pertama digunakan sebagai fungsi *tracking*, dan yang kedua sebagai *fixed*. Kedua PV tersebut akan dibandingkan untuk mengetahui selisih perbedaan *output* daya



pada saat alat diujikan. Berikut merupakan hasil uji *photovoltaic* 1 dan 2 dalam keadaan *fixed*.



**Gambar 4.2** Grafik uji PV1 dan PV2  
PV : *Photovoltaic*

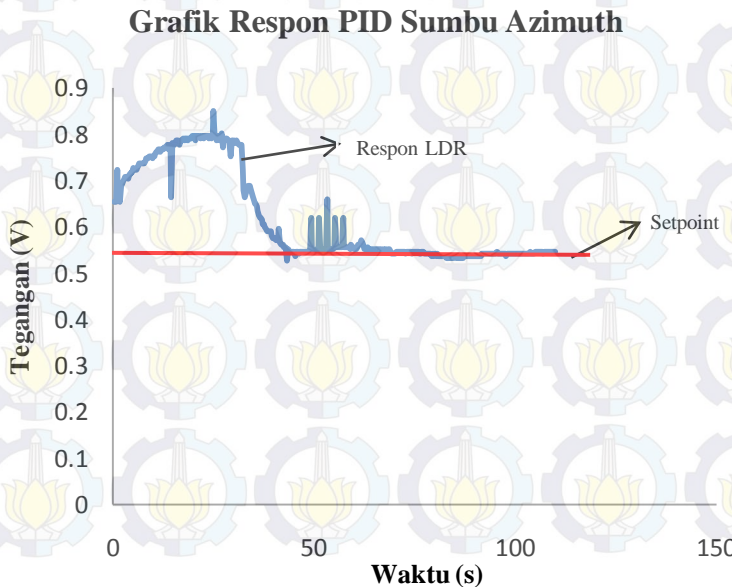
Gambar 4.2 merupakan grafik uji perbedaan *output* tegangan antara PV1 dan PV2. Pengujian komponen dilakukan pada tanggal 24 Maret jam 07.00- 08.10. Kondisi matahari pada saat pengambilan data cerah. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa selisih perbedaan tegangan yang dihasilkan antara PV1 dan PV2 tidak terlalu banyak. Dengan tidak terlalu banyaknya selisih yang dihasilkan, maka PV1 dan PV2 bisa dipakai sebagai perbandingan.

## 4.2 Analisa Sistem Kontrol PID

### 4.2.1 Hasil *Respon* PID pada *Plan* (*azimuth*)

Metode kontrol yang digunakan dalam *plan* ini adalah kontrol PID. Kontrol PID digunakan untuk memperbaiki *respon* sistem pengendalian *solar tracker*. Peletakan kontrol PID pada *plan* ini berada pada program arduino. Pada program arduino sudah tersedia *library* program PID. Dengan sudah tersedianya *library* tersebut, maka pada program arduino tinggal memberi nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$ . Selain pemberian parameter  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$ , nilai *setpoint* harus ditentukan sesuai yang diinginkan.

Pada *real plan* yang ada, nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  yang digunakan adalah sebesar 40, 0.2, dan 0.2. Nilai tersebut didapatkan berdasarkan metode *trial and error*. Penentuan nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  berawal dari simulasi pada *Simulink* [9]. Nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  terus dicari nilainya sampai ditemukan grafik *respon* terbaik.



**Gambar 4.3** Grafik *Respon* PID

Grafik warna biru adalah *respon* sistem berdasarkan tegangan yang terbaca. Sedangkan garis warna merah merupakan set point yang dipakai. Set point yang digunakan adalah sebesar 0.542522 Volt. Set point tersebut ditentukan berdasarkan pembacaan tegangan LDR pada waktu tertentu dibawah sinar matahari langsung. *Error Steady State* dihitung dengan cara mengalikan set point dengan toleransi 2% dan 5%. *Error Steady state* dengan toleransi 2% adalah sebesar 0.01085 dan untuk 5% sebesar 0.027126. *Setling Time* yang dibutuhkan dalam mencapai keadaan *steady state* adalah 59.5 second. *Rise Time* dicari berdasarkan 62.3% dari set point. Sehingga pada grafik tersebut *rise time* yang didapatkan adalah 33.799. *Overshoot* yang didapatkan berdasarkan grafik tersebut adalah 0.552 Volt. Sedangkan *Undershoot* yang didapatkan sebesar 0.5368 Volt.

### 4.3 Daya Photovoltaic

#### 4.3.1 Daya photovoltaic tanpa beban

Salah satu pengambilan data tugas akhir ini dilakukan dengan mengukur daya output dari *solar panel tracking* dan *non tracking*. Pada saat pengukuran *output* daya, sumbu putar yang digunakan pada *solar panel* adalah sumbu *azimuth* (horizontal) dan *zenith* (vertikal). Kedua sumbu tersebut bekerja sesuai arah matahari. Dua *solar panel* yang digunakan berasal dari pabrikan yang sama dan spesifikasi yang sama. Yaitu merk TN-20M 20 Wp. Pengambilan data dilakukan mulai pagi jam 08.45 – 15.00. Data diambil setiap setengah jam sebanyak 10 kali. Daya yang dihasilkan secara keseluruhan lebih besar dari 20 Watt. Hanya satu data yang menghasilkan daya dibawah 20 Watt yaitu pada jam 14.50-15.00. Hal ini dikarenakan pada saat jam tersebut, matahari mulai terbenam. Berikut merupakan beberapa data keluaran daya hasil pengukuran rata-rata yang sudah diambil.

**Tabel 4.1** Data PV *Tracker*

| <i>Tracker</i> |              |          |          |
|----------------|--------------|----------|----------|
| Jam            | Tegangan (V) | Arus (I) | Daya (P) |
| 08.45-09.00    | 19.44        | 1.138    | 22.12272 |
| 10.00-15.00    | 19.68        | 1.252    | 24.63936 |
| 10.45-11.00    | 19.56        | 1.331    | 26.03436 |
| 11.30-11.45    | 19.63        | 1.332    | 26.14716 |
| 12.15-12.30    | 19.61        | 1.321    | 25.90481 |
| 13.00-13.30    | 19.73        | 1.282    | 25.29386 |
| 13.50-14.00    | 19.75        | 1.279    | 25.26025 |
| 14.20-14.30    | 19.66        | 1.185    | 23.2971  |
| 14.50-15.00    | 19.68        | 0.938    | 18.45984 |

Tabel 4.1 menunjukkan data tegangan, arus dan daya dari PV mode *tracking*. Daya yang diterima *photovoltaic* dengan mode *tracking* paling besar terjadi sekitar jam 11.30-11.45. Daya output yang dihasilkan adalah sebesar 26.14716 Watt.

**Tabel 4.2** Data PV *fixed*

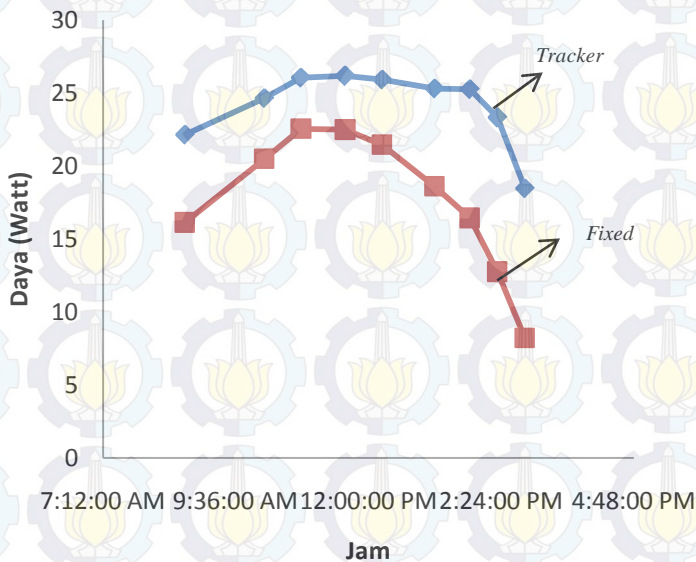
| <i>Fixed</i> |              |          |          |
|--------------|--------------|----------|----------|
| Jam          | Tegangan (V) | Arus (I) | Daya (P) |
| 08.45-09.00  | 19.63        | 0.821    | 16.11623 |
| 10.00-15.00  | 19.76        | 1.037    | 20.49112 |
| 10.45-11.00  | 19.66        | 1.146    | 22.53036 |
| 11.30-11.45  | 19.66        | 1.143    | 22.47138 |
| 12.15-12.30  | 19.58        | 1.094    | 21.42052 |
| 13.00-13.30  | 19.69        | 0.945    | 18.60705 |
| 13.50-14.00  | 19.74        | 0.832    | 16.42368 |
| 14.20-14.30  | 19.6         | 0.65     | 12.74    |
| 14.50-15.00  | 19.41        | 0.423    | 8.21043  |



Tabel 4.2 merupakan data tegangan, arus, dan daya *photovoltaic* dengan mode *non tracking (fixed)*. Pengambilan data dilakukan pada tanggal 20 Juni 2014 di jurusan Teknik Fisika ITS. Pengukuran dilakukan secara manual dengan menggunakan alat ukur multimeter. Sementara daya didapatkan dari perkalian arus dan tegangan. Pengukuran arus dan tegangan dilakukan tanpa menggunakan beban.

Pada *photovoltaic fixed*, didapatkan daya terbesar pada jam 10.45 – 11.00. Daya output yang dihasilkan sebesar 22.53036. Daya minimum kedua *photovoltaic* terjadi pada jam 14.50-15.00. Nilai minimum *photovoltaic tracker* adalah sebesar 18.45984, sedangkan *photovoltaic fixed* sebesar 8.21043.

**Grafik Pengukuran Daya Tanpa Beban**



**Gambar 4.4** Grafik daya tanpa beban

Berdasarkan gambar 4.4 dapat dilihat selisih daya dari *photovoltaic tracker* dan *fixed*. *Photovoltaic tracker* selalu mempunyai output daya yang lebih besar daripada *photovoltaic fixed*. Selisih terbesar terjadi pada jam 14.50-15.00 WIB. Selisih tersebut adalah sebesar 10.24941 Watt. Daya terbesar yang dihasilkan oleh kedua *photovoltaic* berada pada jam 10.45 – 12.00 WIB. Hal ini dikarenakan matahari berada disekitar atas PV. Dan pada saat jam-jam tersebut, matahari tidak terhalang oleh awan atau benda apapun. Peningkatan *performansi* diperoleh dari perhitungan selisih rata-rata dibagi rata-rata *fixed* dikalikan 100%. Dari grafik diatas didapatkan peningkatan *performansi* sebesar 36.57%.

#### 4.3.2 Daya *Photovoltaic* dengan Beban

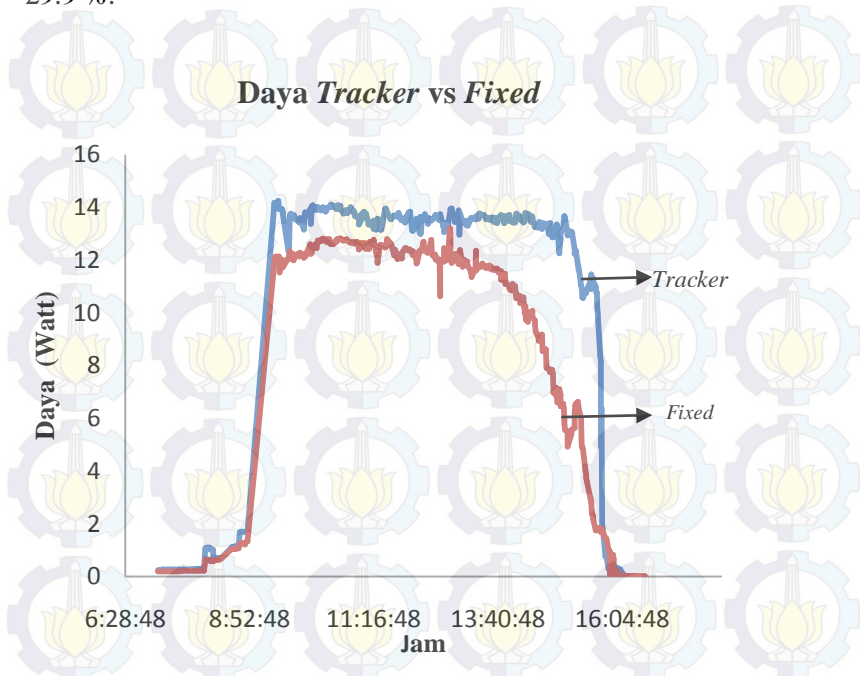
Pengambilan data daya selanjutnya dilakukan dengan menggunakan alat ukur arus dan tegangan buatan sendiri. Pada saat pengukuran, alat ini disambungkan dengan beban berupa lampu 10 Watt 12Vdc. Dengan adanya beban tersebut, maka daya yang dihasilkan *photovoltaic* berkurang. Pengambilan data dilakukan mulai jam 07.00 – 16.30 WIB. Pada saat pengambilan data jam 07.00 – 09.00 keadaan cuaca mendung. Sinar matahari banyak terhalang oleh awan. Saat jam 09.00 – 16.30, cuaca kembali cerah. Dengan keadaan cuaca yang mendung, maka daya yang dihasilkan *Photovoltaic* tidak maksimal. Daya yang dihasilkan dibawah 1 watt. Pada kondisi yang cerah, daya yang didapatkan dari *photovoltaic* akan naik secara maksimal. Pergerakan sudut yang dipakai adalah sumbu *zenith* dan *azimuth*. Berikut merupakan data hasil pengukuran keluaran daya dari *photovoltaic tracker* dan *fixed*.

**Tabel 4.3** Output daya *photovoltaic*

| Jam         | Tracker  | Fixed    | Selisih<br>(tracker - fixed) |
|-------------|----------|----------|------------------------------|
|             | Daya (P) | Daya (P) |                              |
| 07.00-08.00 | 0.28     | 0.22     | 0.066                        |
| 08.00-08.30 | 0.89     | 0.63     | 0.25                         |
| 08.30-09.00 | 1.42     | 1.17     | 0.25                         |
| 09.00-09.30 | 14.04    | 12.08    | 1.96                         |
| 09.30-10.00 | 13.49    | 12.11    | 1.38                         |
| 10.00-10.30 | 13.97    | 12.58    | 1.38                         |
| 10.30-11.00 | 13.85    | 12.72    | 1.12                         |
| 11.30-12.00 | 13.66    | 12.34    | 1.32                         |
| 12.00-12.30 | 13.46    | 12.20    | 1.25                         |
| 12.30-13.00 | 13.57    | 12.10    | 1.47                         |
| 13.00-13.30 | 13.59    | 11.65    | 1.93                         |
| 13.30-14.00 | 13.57    | 10.63    | 2.94                         |
| 14.00-14.30 | 13.53    | 8.66     | 4.87                         |
| 14.30-15.00 | 13.20    | 6.11     | 7.09                         |
| 15.00-15.30 | 11.74    | 2.74     | 9.00                         |
| 15.30-16.00 | 2.84     | 0.71     | 2.13                         |
| 16.00-16.30 | 0.05     | 0.04     | 0.02                         |

Tabel 4.3 merupakan rata-rata dari nilai daya yang sudah diambil pada jam 07.00 sampai 16.30. Dari rata-rata daya yang dihasilkan antara *Photovoltaic tracker* dan *fixed*, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa *photovoltaic tracker* dapat mengeluarkan output daya lebih besar daripada *photovoltaic fixed*. Selisih daya terbesar terjadi pada jam 15.00 – 15.30 WIB. Besar selisih tersebut mencapai 9.00 Watt. Peningkatan *performansi* daya *photovoltaic* didapatkan dengan cara menghitung selisih rata-rata dibagi dengan rata-rata *fixed* dan dikalikan 100%. Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan peningkatan *performansi* daya dari

*photovoltaic* menggunakan beban 10 Watt 12Vdc adalah sebesar 29.9 %.



**Gambar 4.5** Grafik daya dengan beban 10 Watt 12Vdc

Berdasarkan gambar 4.5 dapat dilihat bahwa output daya dari *solar panel tracker* secara keseluruhan lebih besar daripada *fixed*. Pada saat jam 07.00-09.00 dan 15.30-16.30, *output* daya dari *photovoltaic tracker* dan *fixed* relatif sama. Hal ini dikarenakan sebagian cahaya matahari terhalang oleh benda di lingkungan sekitar pengukuran. Dengan kondisi tersebut, maka cahaya yang diterima *photovoltaic tracker* dan *fixed* relatif sama. Akibatnya, daya keluaran kedua *photovoltaic* juga relatif sama.

#### 4.4 Validasi Sudut

Salah satu hal yang berpengaruh pada kenaikan daya *tracker* adalah pergerakan sumbu. Sumbu yang akan dibahas



pergerakannya saat ini adalah sumbu *azimuth* (horizontal). Pengambilan data validasi sudut *azimuth* dilakukan dengan membandingkan sudut bayangan yang dibentuk benda dan sudut real dari solar tracker. Pengambilan data dilakukan mulai jam 08.20 – 10.30. Berikut merupakan perbandingan sudut yang dihasilkan antara bayangan benda dengan solar tracker.

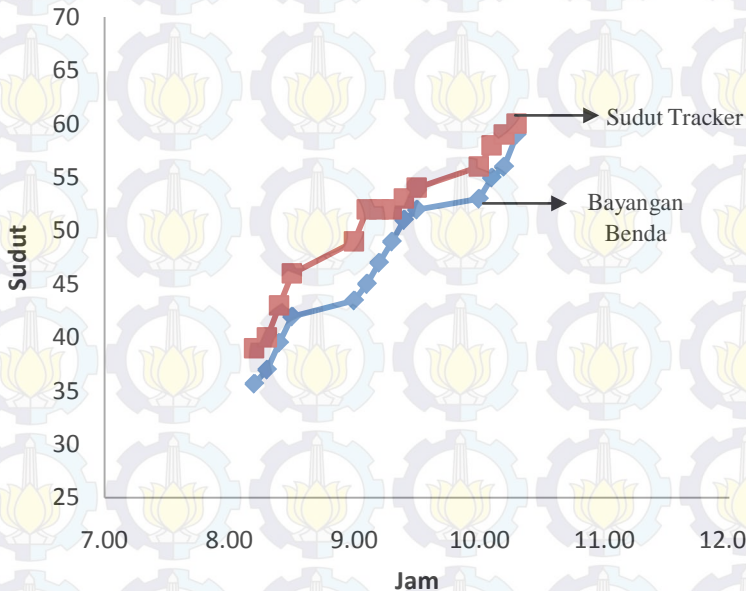
**Tabel 4.4** Validasi sudut

| Jam   | Sudut Bayangan Benda | Sudut tracker | Selisih |
|-------|----------------------|---------------|---------|
| 08.20 | 35.7                 | 39            | 3.3     |
| 08.30 | 37                   | 40            | 3       |
| 08.40 | 39.5                 | 43            | 3.5     |
| 08.50 | 42                   | 46            | 4       |
| 09.00 | 43.5                 | 49            | 5.5     |
| 09.10 | 45                   | 52            | 7       |
| 09.20 | 47                   | 52            | 5       |
| 09.30 | 49                   | 52            | 3       |
| 09.40 | 51                   | 53            | 2       |
| 09.50 | 52                   | 54            | 2       |
| 10.00 | 53                   | 56            | 3       |
| 10.10 | 55                   | 58            | 3       |
| 10.20 | 56                   | 59            | 3       |
| 10.30 | 57                   | 59            | 2       |

Tabel 4.4 merupakan nilai validasi sudut dari bayangan yang dibentuk benda dan solar tracker. Sudut yang dimaksud adalah sudut pergerakan *azimuth* matahari. Berdasarkan data diatas, didapatkan selisih terbesar antara sudut yang dibentuk dari bayangan benda dan sudut yang dibentuk berdasarkan *solar tracker* sebesar 7 °. Rata-rata yang diperoleh dari selisih diatas adalah sebesar 3.5 °. Semakin siang, sudut *azimuth* matahari yang dibentuk tidak begitu terlihat. Sudut tersebut hanya bergeser

sedikit saja. Berikut merupakan grafik validasi sudut *azimuth* Matahari berdasarkan bayangan yang dibentuk oleh benda dan yang dihasilkan oleh *solar tracker*.

### Validasi Sudut Azimuth Matahari



**Gambar 4.6** Grafik Validasi Sudut

Gambar 4.6 merupakan perbandingan pergerakan sumbu *azimuth* berdasarkan bayangan yang dibentuk oleh benda dan yang dihasilkan oleh *solar tracker*. Pada saat jam 08.20 - 09.10 perbedaan antara sudut bayangan benda dan solar tracker terlihat jelas. Hal ini dikarenakan pada jam tersebut pergeseran sumbu *Azimuth* matahari terlihat jelas. Karena posisi matahari pada saat itu belum sepenuhnya terbit keatas.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan rancang bangun dan analisa data yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa :

- Perancangan *solar tracker system* berhasil meningkatkan daya output dari solar panel. Selisih daya terbesar antara tracker dan *fixed* adalah 10.25 Watt dengan tanpa menggunakan beban. Peningkatan *performansi* yang didapatkan sebesar 36.57%.
- Secara keseluruhan, output daya yang dihasilkan dari tracker lebih besar daripada *fixed*. Selisih output daya terbesar antara tracker dengan *fixed* adalah sebesar 9 Watt dengan beban lampu 10 Watt 12Vdc. Peningkatan *performansi* yang didapatkan sebesar 29.9%.

#### **5.2 Saran**

Adapun beberapa saran yang diberikan penulis untuk penelitian selanjutnya adalah :

- Alat ukur yang dipakai harus sama dan terkalibrasi.
- Lebih diperhitungkan dalam peletakan *solar tracker*, karena sangat berpengaruh pada sudut *azimuth tracker* yang dihasilkan.
- *Balancer sensor* sebaiknya berbentuk tipis dan cukup 2 dimensi.





## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Simatupang, Sandos dkk. 2013. **Rancang Bangun dan Uji Coba Solar Tracker pada Panel Surya Berbasis Mikrokontroller ATmega16.** Malang: Universitas Brawijaya
- [2] Nelson Jenny. 2003. *The Physics Of Solar Cell.* UK: Imperial College Press.
- [3] Saputra, Wasana dkk. 2008. **Rancang Bangun Solar Tracking System Untuk Mengoptimalkan Penyerapan Energi Matahari pada Solar Cell.** Jakarta: Universitas Indonesia
- [4] Muhammad, Amar dkk. 2012. **Rancang Bangun Sistem Penjejak Matahari 2 Sumbu Berbasis Kontrol Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS).** Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [5] Susilo, Sidik dkk. 2012. **Perancangan Solar Tracker Sebagai Peningkatan Efisiensi Energi Listrik Yang Dihasilkan Panel Surya dengan Menggunakan Logika Kabur (Fuzzy Logic).** Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- [6] Djuandi, 2011. **Pengenalan Arduino.** Jakarta : tokobuku.com
- [7] ServoCity. 1999-2013. **hs-805bb\_mega\_power.** Diperoleh Desember 2013, dari [http://www.servocity.com/html/hs-805bb\\_mega\\_power.html](http://www.servocity.com/html/hs-805bb_mega_power.html)
- [8] Hartanto ,Nanang Budi dkk. 2013. **Pengaturan Posisi Motor Servo DC Dengan Metode P, PI, Dan PID .** Surabaya: Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.
- [9] Balabel, Ashraf dkk. 2013. **Design and Performance of Solar Tracking Photo-Voltaic System; Research and Education.** Taif: Mechanical Engineering Dept, Taif University.



## LAMPIRAN A

### Program Arduino :

```
#include <PID_v1.h>
#include <Servo.h>
int servo=11;
Servo horizontal;
int ldrutara=0;
int ldrselatan=1;
int servoh=180;

//PID
double Setpoint,Input,Output;
double Kp=40, Ki=0.2, Kd=2;
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Setpoint = 111;
  myPID.SetMode(AUTOMATIC);
  horizontal.attach(servo);
  horizontal.write(180);
}

void loop()
{
  int utara=analogRead(ldrutara);
  int selatan=analogRead(ldrselatan);
  Input=((utara+selatan)/2);
  double error=abs(Setpoint-Input);
  if (error>=0 && error <=100){
    myPID.SetTunings(Kp,Ki,Kd);
    myPID.Compute();
    horizontal.write(Output);}
```

```

{error>100 && error<600 ; horizontal.write(LOW);}
float input1=(( 4.95/1023)*Input);
{
  if (utara > selatan)
  {
    servoh = --servoh;
    if (servoh < 0)
    {
      servoh = 0;
    }
  }
  else if (utara < selatan)
  {
    servoh = ++servoh;
    if (servoh > 180)
    {
      servoh = 180;
    }
  }
  else if (utara == selatan)
  {
  }
  horizontal.write(servoh);
}
Serial.print("inp= ");
Serial.print(Input);
Serial.print("Out= ");
Serial.print(Output);
Serial.print("er= ");
Serial.print(error);
Serial.print("Input1= ");
Serial.println(input1);
delay(250);
}

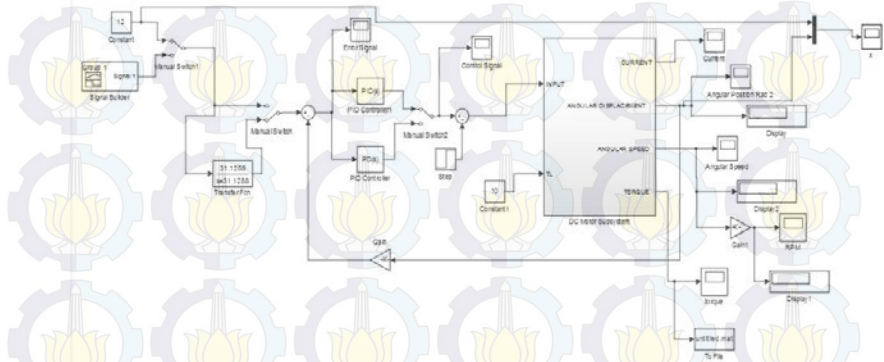
```



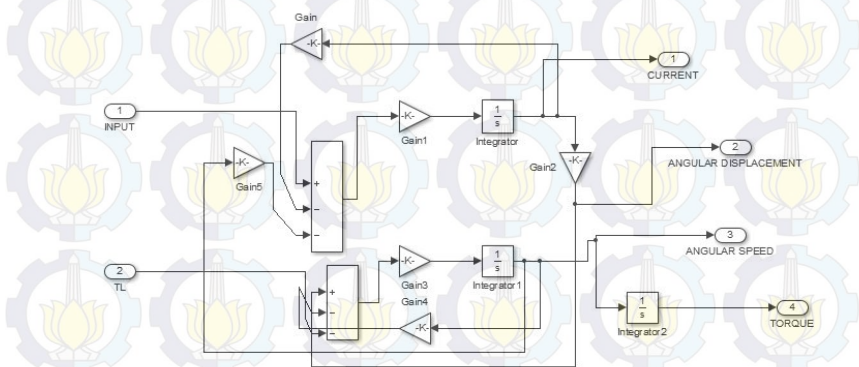
## LAMPIRAN B

### Diagram Blok sistem pengendalian *Solar Tracker* :

Sistem :



Sub sistem :



P : 34.66

I : 1

D : 2.67



## LAMPIRAN C

### Data Respon PID

**Tabel C.1 Data Respon PID**

| Waktu (s) | Analog Read | Tegangan (V) |
|-----------|-------------|--------------|
| 0.25      | 134         | 0.654936461  |
| 0.5       | 134         | 0.654936461  |
| 0.75      | 134         | 0.654936461  |
| 1         | 148         | 0.723362659  |
| 1.25      | 135         | 0.659824047  |
| 1.5       | 137         | 0.669599218  |
| 1.75      | 134         | 0.654936461  |
| 2         | 141         | 0.68914956   |
| 2.25      | 142         | 0.694037146  |
| 2.5       | 143         | 0.698924731  |
| 2.75      | 144         | 0.703812317  |
| 3         | 145         | 0.708699902  |
| 3.25      | 145         | 0.708699902  |
| 3.5       | 145         | 0.708699902  |
| 3.75      | 144         | 0.703812317  |
| 4         | 146         | 0.713587488  |
| 4.25      | 146         | 0.713587488  |
| 4.5       | 147         | 0.718475073  |
| 4.75      | 147         | 0.718475073  |
| 5         | 149         | 0.728250244  |
| 5.25      | 148         | 0.723362659  |
| 5.5       | 148         | 0.723362659  |
| 5.75      | 148         | 0.723362659  |
| 6         | 149         | 0.728250244  |
| 6.25      | 150         | 0.73313783   |

| Waktu (s) | Analog Read | Tegangan (V) |
|-----------|-------------|--------------|
| 6.5       | 151         | 0.738025415  |
| 6.75      | 151         | 0.738025415  |
| 7         | 151         | 0.738025415  |
| 7.25      | 151         | 0.738025415  |
| 7.5       | 151         | 0.738025415  |
| 7.75      | 151         | 0.738025415  |
| 8         | 152         | 0.742913001  |
| 8.25      | 153         | 0.747800587  |
| 8.5       | 153         | 0.747800587  |
| 8.75      | 153         | 0.747800587  |
| 9         | 154         | 0.752688172  |
| 9.25      | 154         | 0.752688172  |
| 9.5       | 154         | 0.752688172  |
| 9.75      | 153         | 0.747800587  |
| 10        | 154         | 0.752688172  |
| 10.25     | 154         | 0.752688172  |
| 10.5      | 155         | 0.757575758  |
| 10.75     | 156         | 0.762463343  |
| 11        | 156         | 0.762463343  |
| 11.25     | 157         | 0.767350929  |
| 11.5      | 157         | 0.767350929  |
| 11.75     | 156         | 0.762463343  |
| 12        | 157         | 0.767350929  |
| 12.25     | 157         | 0.767350929  |
| 12.5      | 157         | 0.767350929  |
| 12.75     | 158         | 0.772238514  |
| 13        | 158         | 0.772238514  |
| 13.25     | 158         | 0.772238514  |
| 13.5      | 159         | 0.7771261    |



| Waktu (s) | Analog Read | Tegangan (V) |
|-----------|-------------|--------------|
| 13.75     | 157         | 0.767350929  |
| 14        | 159         | 0.7771261    |
| 14.25     | 159         | 0.7771261    |
| 14.5      | 136         | 0.664711632  |
| 14.75     | 160         | 0.782013685  |
| 15        | 159         | 0.7771261    |
| 15.25     | 159         | 0.7771261    |
| 15.5      | 160         | 0.782013685  |
| 15.75     | 161         | 0.786901271  |
| 16        | 161         | 0.786901271  |
| 16.25     | 161         | 0.786901271  |
| 16.5      | 159         | 0.7771261    |
| 16.75     | 161         | 0.786901271  |
| 17        | 161         | 0.786901271  |
| 17.25     | 161         | 0.786901271  |
| 17.5      | 162         | 0.791788856  |
| 17.75     | 161         | 0.786901271  |
| 18        | 162         | 0.791788856  |
| 18.25     | 162         | 0.791788856  |
| 18.5      | 161         | 0.786901271  |
| 18.75     | 162         | 0.791788856  |
| 19        | 162         | 0.791788856  |
| 19.25     | 162         | 0.791788856  |
| 19.5      | 162         | 0.791788856  |
| 19.75     | 163         | 0.796676442  |
| 20        | 163         | 0.796676442  |
| 20.25     | 163         | 0.796676442  |
| 20.5      | 161         | 0.786901271  |
| 20.75     | 163         | 0.796676442  |

| Waktu (s) | Analog Read | Tegangan (V) |
|-----------|-------------|--------------|
| 21        | 163         | 0.796676442  |
| 21.25     | 163         | 0.796676442  |
| 21.5      | 163         | 0.796676442  |
| 21.75     | 162         | 0.791788856  |
| 22        | 163         | 0.796676442  |
| 22.25     | 163         | 0.796676442  |
| 22.5      | 162         | 0.791788856  |
| 22.75     | 163         | 0.796676442  |
| 23        | 163         | 0.796676442  |
| 23.25     | 163         | 0.796676442  |
| 23.5      | 163         | 0.796676442  |
| 23.75     | 162         | 0.791788856  |
| 24        | 163         | 0.796676442  |
| 24.25     | 163         | 0.796676442  |
| 24.5      | 162         | 0.791788856  |
| 24.75     | 163         | 0.796676442  |
| 25        | 174         | 0.850439883  |
| 25.25     | 163         | 0.796676442  |
| 25.5      | 163         | 0.796676442  |
| 25.75     | 161         | 0.786901271  |
| 26        | 163         | 0.796676442  |
| 26.25     | 162         | 0.791788856  |
| 26.5      | 161         | 0.786901271  |
| 26.75     | 162         | 0.791788856  |
| 27        | 164         | 0.801564027  |
| 27.25     | 158         | 0.772238514  |
| 27.5      | 162         | 0.791788856  |
| 27.75     | 161         | 0.786901271  |
| 28        | 162         | 0.791788856  |

| Waktu (s) | Analog Read | Tegangan (V) |
|-----------|-------------|--------------|
| 28.25     | 162         | 0.791788856  |
| 28.5      | 161         | 0.786901271  |
| 28.75     | 161         | 0.786901271  |
| 29        | 160         | 0.782013685  |
| 29.25     | 154         | 0.752688172  |
| 29.5      | 161         | 0.786901271  |
| 29.75     | 160         | 0.782013685  |
| 30        | 161         | 0.786901271  |
| 30.25     | 160         | 0.782013685  |
| 30.5      | 160         | 0.782013685  |
| 30.75     | 161         | 0.786901271  |
| 31        | 160         | 0.782013685  |
| 31.25     | 159         | 0.7771261    |
| 31.5      | 159         | 0.7771261    |
| 31.75     | 159         | 0.7771261    |
| 32        | 159         | 0.7771261    |
| 32.25     | 148         | 0.723362659  |
| 32.5      | 139         | 0.679374389  |
| 32.75     | 136         | 0.664711632  |
| 33        | 138         | 0.674486804  |
| 33.25     | 140         | 0.684261975  |
| 33.5      | 141         | 0.68914956   |
| 33.75     | 141         | 0.68914956   |
| 34        | 141         | 0.68914956   |
| 34.25     | 140         | 0.684261975  |
| 34.5      | 138         | 0.674486804  |
| 34.75     | 136         | 0.664711632  |
| 35        | 135         | 0.659824047  |
| 35.25     | 133         | 0.650048876  |

| Waktu (s) | Analog Read | Tegangan (V) |
|-----------|-------------|--------------|
| 35.5      | 133         | 0.650048876  |
| 35.75     | 132         | 0.64516129   |
| 36        | 130         | 0.635386119  |
| 36.25     | 128         | 0.625610948  |
| 36.5      | 127         | 0.620723363  |
| 36.75     | 127         | 0.620723363  |
| 37        | 126         | 0.615835777  |
| 37.25     | 124         | 0.606060606  |
| 37.5      | 124         | 0.606060606  |
| 37.75     | 123         | 0.601173021  |
| 38        | 122         | 0.596285435  |
| 38.25     | 121         | 0.591397849  |
| 38.5      | 121         | 0.591397849  |
| 38.75     | 121         | 0.591397849  |
| 39        | 121         | 0.591397849  |
| 39.25     | 121         | 0.591397849  |
| 39.5      | 119         | 0.581622678  |
| 39.75     | 118         | 0.576735093  |
| 40        | 118         | 0.576735093  |
| 40.25     | 118         | 0.576735093  |
| 40.5      | 117         | 0.571847507  |
| 40.75     | 117         | 0.571847507  |
| 41        | 117         | 0.571847507  |
| 41.25     | 122         | 0.596285435  |
| 41.5      | 116         | 0.566959922  |
| 41.75     | 115         | 0.562072336  |
| 42        | 115         | 0.562072336  |
| 42.25     | 115         | 0.562072336  |
| 42.5      | 114         | 0.557184751  |



| Waktu (s) | Analog Read | Tegangan (V) |
|-----------|-------------|--------------|
| 42.75     | 114         | 0.557184751  |
| 43        | 114         | 0.557184751  |
| 43.25     | 108         | 0.527859238  |
| 43.5      | 113         | 0.552297165  |
| 43.75     | 112         | 0.54740958   |
| 44        | 112         | 0.54740958   |
| 44.25     | 112         | 0.54740958   |
| 44.5      | 112         | 0.54740958   |
| 44.75     | 112         | 0.54740958   |
| 45        | 112         | 0.54740958   |
| 45.25     | 110         | 0.537634409  |
| 45.5      | 112         | 0.54740958   |
| 45.75     | 112         | 0.54740958   |
| 46        | 112         | 0.54740958   |
| 46.25     | 111         | 0.542521994  |
| 46.5      | 112         | 0.54740958   |
| 46.75     | 112         | 0.54740958   |
| 47        | 112         | 0.54740958   |
| 47.25     | 112         | 0.54740958   |
| 47.5      | 112         | 0.54740958   |
| 47.75     | 112         | 0.54740958   |
| 48        | 112         | 0.54740958   |
| 48.25     | 112         | 0.54740958   |
| 48.5      | 112         | 0.54740958   |
| 48.75     | 112         | 0.54740958   |
| 49        | 112         | 0.54740958   |
| 49.25     | 127         | 0.620723363  |
| 49.5      | 112         | 0.54740958   |
| 49.75     | 112         | 0.54740958   |

| Waktu (s) | Analog Read | Tegangan (V) |
|-----------|-------------|--------------|
| 50        | 112         | 0.54740958   |
| 50.25     | 112         | 0.54740958   |
| 50.5      | 112         | 0.54740958   |
| 50.75     | 113         | 0.552297165  |
| 51        | 113         | 0.552297165  |
| 51.25     | 127         | 0.620723363  |
| 51.5      | 113         | 0.552297165  |
| 51.75     | 113         | 0.552297165  |
| 52        | 113         | 0.552297165  |
| 52.25     | 113         | 0.552297165  |
| 52.5      | 113         | 0.552297165  |
| 52.75     | 113         | 0.552297165  |
| 53        | 113         | 0.552297165  |
| 53.25     | 135         | 0.659824047  |
| 53.5      | 113         | 0.552297165  |
| 53.75     | 113         | 0.552297165  |
| 54        | 113         | 0.552297165  |
| 54.25     | 113         | 0.552297165  |
| 54.5      | 113         | 0.552297165  |
| 54.75     | 113         | 0.552297165  |
| 55        | 114         | 0.557184751  |
| 55.25     | 127         | 0.620723363  |
| 55.5      | 114         | 0.557184751  |
| 55.75     | 114         | 0.557184751  |
| 56        | 114         | 0.557184751  |
| 56.25     | 114         | 0.557184751  |
| 56.5      | 114         | 0.557184751  |
| 56.75     | 114         | 0.557184751  |
| 57        | 114         | 0.557184751  |

| Waktu (s) | Analog Read | Tegangan (V) |
|-----------|-------------|--------------|
| 57.25     | 127         | 0.620723363  |
| 57.5      | 114         | 0.557184751  |
| 57.75     | 114         | 0.557184751  |
| 58        | 114         | 0.557184751  |
| 58.25     | 114         | 0.557184751  |
| 58.5      | 114         | 0.557184751  |
| 58.75     | 114         | 0.557184751  |
| 59        | 113         | 0.552297165  |
| 59.25     | 115         | 0.562072336  |
| 59.5      | 114         | 0.557184751  |
| 59.75     | 114         | 0.557184751  |
| 60        | 113         | 0.552297165  |
| 60.25     | 113         | 0.552297165  |
| 60.5      | 113         | 0.552297165  |
| 60.75     | 114         | 0.557184751  |
| 61        | 115         | 0.562072336  |
| 61.25     | 115         | 0.562072336  |
| 61.5      | 116         | 0.566959922  |
| 61.75     | 117         | 0.571847507  |
| 62        | 116         | 0.566959922  |
| 62.25     | 115         | 0.562072336  |
| 62.5      | 113         | 0.552297165  |
| 62.75     | 113         | 0.552297165  |
| 63        | 113         | 0.552297165  |
| 63.25     | 114         | 0.557184751  |
| 63.5      | 113         | 0.552297165  |
| 63.75     | 113         | 0.552297165  |
| 64        | 113         | 0.552297165  |
| 64.25     | 113         | 0.552297165  |

| Waktu (s) | Analog Read | Tegangan (V) |
|-----------|-------------|--------------|
| 64.5      | 113         | 0.552297165  |
| 64.75     | 113         | 0.552297165  |
| 65        | 113         | 0.552297165  |
| 65.25     | 113         | 0.552297165  |
| 65.5      | 113         | 0.552297165  |
| 65.75     | 113         | 0.552297165  |
| 66        | 113         | 0.552297165  |
| 66.25     | 113         | 0.552297165  |
| 66.5      | 113         | 0.552297165  |
| 66.75     | 113         | 0.552297165  |
| 67        | 112         | 0.54740958   |
| 67.25     | 113         | 0.552297165  |
| 67.5      | 112         | 0.54740958   |
| 67.75     | 113         | 0.552297165  |
| 68        | 112         | 0.54740958   |
| 68.25     | 112         | 0.54740958   |
| 68.5      | 113         | 0.552297165  |
| 68.75     | 113         | 0.552297165  |
| 69        | 112         | 0.54740958   |
| 69.25     | 111         | 0.542521994  |
| 69.5      | 111         | 0.542521994  |
| 69.75     | 111         | 0.542521994  |
| 70        | 111         | 0.542521994  |
| 70.25     | 111         | 0.542521994  |
| 70.5      | 112         | 0.54740958   |
| 70.75     | 112         | 0.54740958   |
| 71        | 112         | 0.54740958   |
| 71.25     | 112         | 0.54740958   |
| 71.5      | 112         | 0.54740958   |



| Waktu (s) | Analog Read | Tegangan (V) |
|-----------|-------------|--------------|
| 71.75     | 112         | 0.54740958   |
| 72        | 112         | 0.54740958   |
| 72.25     | 112         | 0.54740958   |
| 72.5      | 112         | 0.54740958   |
| 72.75     | 111         | 0.542521994  |
| 73        | 112         | 0.54740958   |
| 73.25     | 112         | 0.54740958   |
| 73.5      | 112         | 0.54740958   |
| 73.75     | 112         | 0.54740958   |
| 74        | 112         | 0.54740958   |
| 74.25     | 111         | 0.542521994  |
| 74.5      | 112         | 0.54740958   |
| 74.75     | 112         | 0.54740958   |
| 75        | 112         | 0.54740958   |
| 75.25     | 112         | 0.54740958   |
| 75.5      | 112         | 0.54740958   |
| 75.75     | 112         | 0.54740958   |
| 76        | 112         | 0.54740958   |
| 76.25     | 111         | 0.542521994  |
| 76.5      | 111         | 0.542521994  |
| 76.75     | 112         | 0.54740958   |
| 77        | 112         | 0.54740958   |
| 77.25     | 112         | 0.54740958   |
| 77.5      | 111         | 0.542521994  |
| 77.75     | 111         | 0.542521994  |
| 78        | 111         | 0.542521994  |
| 78.25     | 111         | 0.542521994  |
| 78.5      | 111         | 0.542521994  |
| 78.75     | 111         | 0.542521994  |

| Waktu (s) | Analog Read | Tegangan (V) |
|-----------|-------------|--------------|
| 79        | 111         | 0.542521994  |
| 79.25     | 110         | 0.537634409  |
| 79.5      | 111         | 0.542521994  |
| 79.75     | 110         | 0.537634409  |
| 80        | 111         | 0.542521994  |
| 80.25     | 111         | 0.542521994  |
| 80.5      | 110         | 0.537634409  |
| 80.75     | 111         | 0.542521994  |
| 81        | 110         | 0.537634409  |
| 81.25     | 110         | 0.537634409  |
| 81.5      | 110         | 0.537634409  |
| 81.75     | 110         | 0.537634409  |
| 82        | 110         | 0.537634409  |
| 82.25     | 110         | 0.537634409  |
| 82.5      | 110         | 0.537634409  |
| 82.75     | 110         | 0.537634409  |
| 83        | 109         | 0.532746823  |
| 83.25     | 109         | 0.532746823  |
| 83.5      | 109         | 0.532746823  |
| 83.75     | 110         | 0.537634409  |
| 84        | 109         | 0.532746823  |
| 84.25     | 110         | 0.537634409  |
| 84.5      | 109         | 0.532746823  |
| 84.75     | 109         | 0.532746823  |
| 85        | 110         | 0.537634409  |
| 85.25     | 110         | 0.537634409  |
| 85.5      | 109         | 0.532746823  |
| 85.75     | 110         | 0.537634409  |
| 86        | 109         | 0.532746823  |

| Waktu (s) | Analog Read | Tegangan (V) |
|-----------|-------------|--------------|
| 86.25     | 109         | 0.532746823  |
| 86.5      | 109         | 0.532746823  |
| 86.75     | 109         | 0.532746823  |
| 87        | 109         | 0.532746823  |
| 87.25     | 110         | 0.537634409  |
| 87.5      | 110         | 0.537634409  |
| 87.75     | 110         | 0.537634409  |
| 88        | 110         | 0.537634409  |
| 88.25     | 110         | 0.537634409  |
| 88.5      | 110         | 0.537634409  |
| 88.75     | 110         | 0.537634409  |
| 89        | 110         | 0.537634409  |
| 89.25     | 110         | 0.537634409  |
| 89.5      | 110         | 0.537634409  |
| 89.75     | 110         | 0.537634409  |
| 90        | 110         | 0.537634409  |
| 90.25     | 110         | 0.537634409  |
| 90.5      | 110         | 0.537634409  |
| 90.75     | 110         | 0.537634409  |
| 91        | 110         | 0.537634409  |
| 91.25     | 110         | 0.537634409  |
| 91.5      | 110         | 0.537634409  |
| 91.75     | 111         | 0.542521994  |
| 92        | 111         | 0.542521994  |
| 92.25     | 111         | 0.542521994  |
| 92.5      | 111         | 0.542521994  |
| 92.75     | 111         | 0.542521994  |
| 93        | 111         | 0.542521994  |
| 93.25     | 111         | 0.542521994  |

| Waktu (s) | Analog Read | Tegangan (V) |
|-----------|-------------|--------------|
| 93.5      | 111         | 0.542521994  |
| 93.75     | 111         | 0.542521994  |
| 94        | 111         | 0.542521994  |
| 94.25     | 111         | 0.542521994  |
| 94.5      | 111         | 0.542521994  |
| 94.75     | 111         | 0.542521994  |
| 95        | 111         | 0.542521994  |
| 95.25     | 111         | 0.542521994  |
| 95.5      | 112         | 0.54740958   |
| 95.75     | 111         | 0.542521994  |
| 96        | 111         | 0.542521994  |
| 96.25     | 111         | 0.542521994  |
| 96.5      | 111         | 0.542521994  |
| 96.75     | 111         | 0.542521994  |
| 97        | 111         | 0.542521994  |
| 97.25     | 111         | 0.542521994  |
| 97.5      | 111         | 0.542521994  |
| 97.75     | 110         | 0.537634409  |
| 98        | 111         | 0.542521994  |
| 98.25     | 111         | 0.542521994  |
| 98.5      | 111         | 0.542521994  |
| 98.75     | 111         | 0.542521994  |
| 99        | 111         | 0.542521994  |
| 99.25     | 111         | 0.542521994  |
| 99.5      | 111         | 0.542521994  |
| 99.75     | 111         | 0.542521994  |
| 100       | 111         | 0.542521994  |
| 100.25    | 111         | 0.542521994  |
| 100.5     | 111         | 0.542521994  |



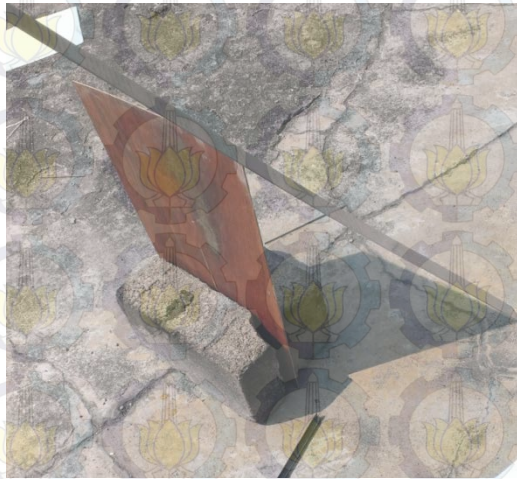
| Waktu (s) | Analog Read | Tegangan (V) |
|-----------|-------------|--------------|
| 100.75    | 111         | 0.542521994  |
| 101       | 111         | 0.542521994  |
| 101.25    | 111         | 0.542521994  |
| 101.5     | 111         | 0.542521994  |
| 101.75    | 111         | 0.542521994  |
| 102       | 111         | 0.542521994  |
| 102.25    | 111         | 0.542521994  |
| 102.5     | 111         | 0.542521994  |
| 102.75    | 111         | 0.542521994  |
| 103       | 111         | 0.542521994  |
| 103.25    | 111         | 0.542521994  |
| 103.5     | 111         | 0.542521994  |
| 103.75    | 112         | 0.54740958   |
| 104       | 111         | 0.542521994  |
| 104.25    | 111         | 0.542521994  |
| 104.5     | 111         | 0.542521994  |
| 104.75    | 111         | 0.542521994  |
| 105       | 112         | 0.54740958   |
| 105.25    | 112         | 0.54740958   |
| 105.5     | 112         | 0.54740958   |
| 105.75    | 112         | 0.54740958   |
| 106       | 112         | 0.54740958   |
| 106.25    | 112         | 0.54740958   |
| 106.5     | 112         | 0.54740958   |
| 106.75    | 112         | 0.54740958   |
| 107       | 111         | 0.542521994  |
| 107.25    | 112         | 0.54740958   |
| 107.5     | 112         | 0.54740958   |
| 107.75    | 112         | 0.54740958   |

| Waktu (s) | Analog Read | Tegangan (V) |
|-----------|-------------|--------------|
| 108       | 112         | 0.54740958   |
| 108.25    | 112         | 0.54740958   |
| 108.5     | 112         | 0.54740958   |
| 108.75    | 112         | 0.54740958   |
| 109       | 112         | 0.54740958   |
| 109.25    | 112         | 0.54740958   |
| 109.5     | 112         | 0.54740958   |
| 109.75    | 112         | 0.54740958   |
| 110       | 112         | 0.54740958   |

## LAMPIRAN D

### *Validasi Sudut*

Pengambilan data *validasi* sudut dilakukan dengan cara membandingkan hasil sudut yang dibentuk oleh bayangan dari benda dengan hasil sudut solar tracker yang berputar mengikuti matahari. Dibawah ini merupakan cara pengambilan data sudut berdasarkan bayangan yang dibentuk oleh benda. Berikut merupakan gambaran cara pengambilan data :



Pengambilan data sudut *solar tracker* dilakukan dengan cara mengukur kemiringan yang dihasilkan dari *tracker* tersebut. Hal ini bertujuan untuk membuktikan apakah solar tracker benar menghadap ke arah matahari. Perhitungan sudut dilakukan dengan meletakkan busur pada samping *solar tracker*. Dibawah ini merupakan cara pengambilan data sudut *solar tracker* :



Gambar diatas merupakan ilustrasi pengambilan data pada sudut *tracker*. Pengambilan data dilakukan secara manual. Dengan cara membaca sudut dengan busur yang dibentuk *tracker*. Hasil sudut tersebut digunakan untuk pembandingan dengan sudut bayangan. Tujuan akhirnya adalah mengetahui apakah nilai sudut yang dibentuk oleh *tracker* sama dengan yang dibentuk oleh bayangan benda.



## BIODATA PENULIS



Hariz Elvia Santoso, anak kedua dari dua bersaudara pasangan Bapak Parwoko dan Ibu Lubin Krisnawati. Kedua orangtua berasal dari Karesidenan Madiun. Yaitu Kabupaten Madiun dan Magetan. Penulis lahir di Kabupaten Magetan pada tanggal 23 Mei 1993. Pendidikan penulis berawal dari TK Parikesit Desa Bulu, SDN BULU I, SMPN 4 Magetan, SMAN 1 Magetan dan melanjutkan kuliah di Jurusan Teknik Fisika dengan prodi D3 Metrologi dan Instrumentasi, FTI-ITS Surabaya. Semasa kuliah, penulis aktif di organisasi kampus. Pernah menjabat sebagai Staff Hublu HMTF ITS periode 2012/2013, menjadi Wakadep Internal HMTF ITS periode 2013/2014. Selain ormawa, penulis juga aktif di kegiatan Laboratorium Energi dan Pengkondisian Lingkungan Teknik Fisika dengan menjabat sebagai staff Lab. Penulis juga berperan sebagai asisten praktikum di Laboratorium Pengukuran Fisis, dan Laboratorium Energi Teknik Fisika ITS. Penulis dapat dihubungi melalui email [Harizelvia29@gmail.com](mailto:Harizelvia29@gmail.com) karena penulis sangat terbuka dengan pertanyaan, kritik dan saran untuk menjadi lebih baik lagi dan bermanfaat bagi orang lain. Penulis mempunyai motto hidup yaitu “membahagiakan orang lain adalah prioritas utama”.